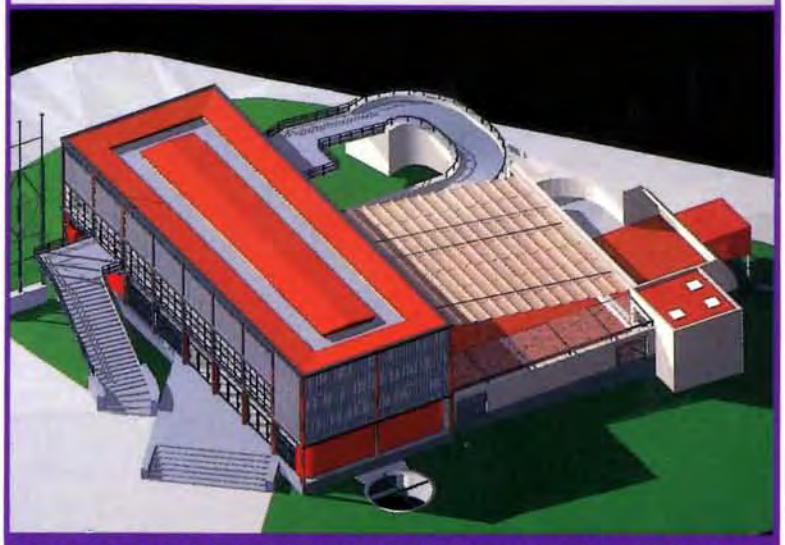
JORGE SAINZ
FERNANDO VALDERRAMA

INFOGRAFIA Y ARQUITECTURA



DIBUJO Y PROYECTO ASISTIDOS POR ORDENADOR

NEREA

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

INFOGRAFÍA Y ARQUITECTURA

Dibujo y proyecto asistidos por ordenador

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

JORGE SAINZ
FERNANDO VALDERRAMA

INFOGRAFÍA Y ARQUITECTURA

Dibujo y proyecto asistidos por ordenador

NEREA

Ilustración de cubierta:
Josep Lluís Sert y Luis Lacasa, Pabellón de España en la Exposición de París de 1937.
Perspectiva y axonometría del proyecto para su reconstrucción en Barcelona,
redactado por Juan Miguel Hernández León, con Miquel Espinet y Antoni Ubach.
Imágenes infográficas elaboradas con el programa Arris
(véanse también las láminas XXII a XXVI).
© 1992 Soft SA.

© Jorge Sainz y Fernando Valderrama, 1992
© Editorial NEREA, S. A., 1992
Santa María Magdalena, 13. 28016 Madrid
Teléfonos: 359 45 09 - 359 45 16

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro pueden reproducirse o transmitirse utilizando medios electrónicos o mecánicos, por fotocopia, grabación, información, anulado u otro sistema sin permiso por escrito del editor.

ISBN: 84-86763-68-1
Depósito legal: M. 12.743/1992
Impreso en Fernández Ciudad, S. L.

Impreso en España

ÍNDICE

Prólogo de Jaime Cervera Bravo 11
Agradecimientos 15

Introducción 17

Capítulo 1: Antecedentes
- Una brevísima historia 21
- La situación actual 26

Capítulo 2: Sistemas infográficos
- Equipos 33
  Compatibles. Macintosh. Estaciones de trabajo. Redes. Pantallas. Trazadores. Impresoras de color. Vídeo
- Programas 53
  De dibujo. De diseño. De presentación. Auxiliares. Criterios de elección. Intercambios

Capítulo 3: La infografía arquitectónica
- Concepto y campos de actuación 65
  CAD: dibujo y diseño asistidos por ordenador
- Dibujo e imagen electrónica 68
  Complejidad y convencionalidad
- Nueva definición 72
- Nuevos atributos 72
  De la artesanía al automatismo. Una experiencia 'casi' real. Una nueva escala. La dificultad de la expresión

Capítulo 4: El dibujo infográfico
- Un nuevo dibujo 81
- Nuevos usos 82
  Proyectos integrales. Vistas y ejemplos. Levantamientos automáticos. Investigación y creación
- Nuevas formas 89
  Sistemas de proyección geométrica. Las variables infográficas. Rotulación y acotación
- Nuevas técnicas 108
  Un producto mecanizado. De la pantalla al papel. Un estilo 'asistido'
- Presentación y representación 113
  Fotorrealismo. Visualización interactiva. Animación. Multimedia. Estereolitografía

Capítulo 5: El proyecto infográfico

Dibujo y modelo 133
Delineación electrónica. Diseño automatizado. Del plano 2D al espacio 3D. Extrusión frente a proyección. Intervención manual. Dos estilos, dos culturas

El espacio arquitectónico en el ordenador 145
Especificidad. Maquetas vacías y 2 1/2 D. Modelos integrados

El proyecto 'asistido' 153
Mediciones y presupuestos. Pliegos de condiciones. Entidades inteligentes. El hiperproyecto

Capítulo 6: La arquitectura infográfica

Presente y futuro 163
Realidad virtual y ciberespacio. El ciberproyecto. Inteligencia artificial y sistemas expertos. Decisiones y comprobaciones. Poéticas por ordenador. Modelización del territorio

¿Una nueva arquitectura? 172
'High tech' o posmoderno. Una nueva artesanía profesional. Alas y hélices

Conclusión 177

Lista de programas 179
Bibliografía 183
Procedencia de las ilustraciones 189
Índice analítico 191

«La informática no es la cultura. La informática es la infraestructura de la cultura.»

Enrique Tierno Galván, 1983.

«El uso del ordenador requiere de hecho, al profundizar en los problemas, una *forma mentis,* una cierta actitud mental mucho más lógica y mucho menos intuitiva que la que tradicionalmente el arquitecto está acostumbrado a tener.»

Roberto De Rubertis, 1985.

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

PRÓLOGO

POESÍA Y ORDEN

La reflexión sobre la relación existente entre la arquitectura y las herramientas empleadas en su concepción en el proceso de proyectación remite, de modo inevitable, a la ya saldada discusión sobre las relaciones entre el pensamiento y el lenguaje: no existe pensamiento independiente del lenguaje, y éste acota los límites de aquél. El desarrollo en el pensamiento sólo es posible a través de la diversificación y el desarrollo en el lenguaje.

A las herramientas clásicas en la creación arquitectónica —esencialmente el lápiz y el papel de croquis, aunque también otras múltiples técnicas de dibujo y de representación en dos y tres dimensiones, las maquetas, etcétera— se está añadiendo en los últimos tiempos una generación radicalmente nueva, basada en algunas de las posibilidades de cómputo y almacenamiento de los ordenadores digitales.

Y la cuestión que se plantea de inmediato es ver cómo han de intervenir tales herramientas en la evolución arquitectónica. Y no me refiero —sólo en cierto modo— a la evolución en la organización y la forma de trabajo de los estudios profesionales, entendidos como organizaciones capaces de generar el producto que permite contratar y ordenar la construcción —lugar en el que el impacto de la herramienta informática es demoledor—, sino fundamentalmente al desarrollo en el pensamiento de nuevas arquitecturas.

Al hacerme esta pregunta recuerdo inevitablemente una frase aplicada a los investigadores en 'inteligencia artificial' en la que se decía que, en el intento de hacer *pensar* a los ordenadores, muchos investigadores habían llegado a *pensar* como ellos. Por el momento, efectivamente, la dificultad de empleo —de aprendizaje— de los nuevos medios, por un lado, y su rigidez geométrica, por otro, actúan fuertemente en favor de un reduccionismo conceptual que se afianza en el caso de encontrar el campo abonado para ello.

Por esta razón, cabe prever una primera etapa —tal vez explosiva en cuanto a su impacto ambiental— llena de una arquitectura fútil producida con el *auxilio* del ordenador y cuya coartada sería precisamente ésa.

En el momento actual, y aun contando con la rápida evolución existente —que hace obsoletos los programas al poco tiempo de su publicación, por lo que he afirmado alguna vez que se trata a menudo de utensilios de usar y tirar—, las herramientas informáticas gráficas son un importante apoyo en la productividad de las fases de depuración y documentación de los proyectos, pero son todavía de una torpeza inenarrable en las etapas de concepción, en las que la potencialidad inmensa que se desprende de la descripción difusa de un croquis (por hablar en términos matemáticos e informáticos) no ha sido aún emulada pese a que existen algunos de los medios técnicos precisos para intentarlo.

Y es que el paradigma en que se basan los programas *infográficos* les permite manipular y organizar con cierta facilidad colecciones más o menos complicadas de objetos que representan otros objetos materiales, y tal vez lo hacen tanto mejor cuanta más materialidad contengan los objetos representados. Sin embargo, fallan estrepitosamente en la descripción y manipulación de la ambigüedad geométrica y material característica de las primeras etapas de la concepción.

Esta cualidad permite, a cambio, que el ordenador se esté convirtiendo rápidamente en una extraordinario medio de simulación y validación, y por tanto en una aportación de mucha importancia a la parte de oficio que tiene la profesión de arquitecto: con ordenadores se trabaja indudablemente más que sin ellos; y, sin embargo, de este trabajo resultan objetos de mucha mayor precisión.

En este terreno existen importantes defectos de uso potenciales —como confiar en la *omnisciencia* del ordenador y sus programas para suplir las carencias de conocimiento del usuario, aceptar las consecuencias niveladoras implícitas en el empleo de unas pocas bases de datos prefabricadas, etcétera—, pero la evolución profesional y la capacidad de comunicación implícita en los medios digitales pueden dar cuenta de tales desviaciones a medio plazo, si la profesión resiste a embates más importantes procedentes de otros frentes más preocupantes.

Es, sin embargo, la vocación —o tal vez sólo la pretensión— de universalidad de la máquina digital la causa de su impacto mayor en la próxima etapa, pues el mundo que se abre a la explotación mecanizada y a la comunicación de estas representaciones electrónicas de objetos arquitectónicos pasados o futuros —tal vez sólo imaginados— es inmenso, al igual que lo es su influencia en el oficio de arquitecto.

El texto de Jorge Sainz y Fernando Valderrama muestra con claridad las amplias posibilidades del medio, trazando, organizando y analizando un panorama muy extenso. La trayectoria y la experiencia profesional de los autores les han permitido aportar una exploración mucho más general —por tanto más útil y con mucha mayor capacidad proyectiva— que la que cabría extraer con esfuerzo de la maraña informativa existente en revistas o en folletos publicitarios, por lo que sin duda el presente libro habrá de ser una referencia obligada en el futuro.

En todo caso, no resisto la necesidad de oponer al orden y a la capacidad de subyugación que posee la herramienta informática la convicción de que las construcciones que propongamos con su auxilio han de resistir —en poesía, calidad y belleza— el paso del tiempo con total independencia del ritmo de degradación que puedan sufrir los útiles empleados en su producción.

Jaime Cervera Bravo
Madrid, febrero de 1992

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

AGRADECIMIENTOS

Este libro está escrito a cuatro manos. O, más concretamente, a dos teclados. Experimentando en propia carne algunos de los problemas que se mencionan en él, hemos intercambiado textos en formatos diversos y hemos llegado al resultado final a través de un arduo proceso de aproximaciones sucesivas. En nuestro convencimiento de que la informática es efectivamente esa infraestructura de la cultura actual que decía el profesor Tierno, este libro también se ha maquetado electrónicamente mediante un sistema de autoedición que nos ha permitido controlar conjuntamente el resultado casi hasta el final. Sin embargo, dado que la aproximación a la informática, y a este trabajo, ha sido muy distinta para cada uno de nosotros, los agradecimientos hemos de hacerlos por separado.

Mi primer contacto con la informática fue bastante tardío: nada menos que en 1987. Por entonces, en la Escuela de Arquitectura de Madrid no abundaban los ordenadores, pero los profesores teníamos a nuestra disposición media docena de PCs. La primera vez que me puse delante de uno, nadie me dijo que había que cargar un programa para trabajar como usuario, así que decidí aprender por mi cuenta.

En 1989, gracias a una ayuda de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica, estuve seis meses en la Facultad de Arquitectura de Roma, donde participé como colaborador en el curso de 'Disegno e Rilievo' impartido por el profesor Roberto De Rubertis, quien me introdujo en el dibujo de arquitectura por ordenador. Allí desarrollé un trabajo de investigación denominado 'La nueva chispa de la divinidad electrónica: nuevas dimensiones del dibujo de arquitectura', cuya versión italiana fue pacientemente corregida por Fabio Quici, por entonces estudiante y hoy ya arquitecto. Una versión abreviada de ese trabajo fue publicada ese mismo año en la revista *Arquitectura Viva* con el título 'El estilo del futuro: infografía para la arquitectura'. Aquel texto fue el origen y el núcleo central de este libro, y ahora se encuentra indisolublemente desleído en sus páginas.

La primera persona que creyó que la sinopsis inicial acabaría convirtiéndose en un libro publicable fue Juan Antonio Ramírez, cuyo ánimo resultó fundamental para seguir adelante. La infraes-

tructura editorial de las revistas *A&V Monografías* y *Arquitectura Viva* ha permitido ampliar las ideas y las imágenes de este libro. Especial mención merece la inestimable colaboración de Gina Cariño, sin cuyo incansable impulso muchos de los dibujos infográficos de firmas y arquitectos extranjeros nunca habrían llegado a estas páginas. Finalmente, a Adela García-Herrera y a Luis Fernández-Galiano he de agradecerles la inagotable paciencia que han demostrado conmigo cuando han buscado, y no han encontrado, toda mi atención.

J.S.

A la crisis del ejercicio profesional de la arquitectura de finales de los años setenta debo el haberme dedicado a la informática, junto con la confianza de Gonzalo García en que nuestro trabajo podía servir para mejorar el trabajo de otros arquitectos y, lo que es más sorprendente, para fundar y sostener una empresa. Es en Soft donde he tenido la oportunidad de conocer, evaluar y manejar una pequeña parte de la enorme colección de programas para arquitectura que han llegado a circular por el mundo.

Por ello, son o han sido de Soft la mayoría de las personas que me han acompañado en el mundo del dibujo y la arquitectura: Ignacio Ávila, que redactó nuestro único programa de dibujo propio, Cero/0; Ignacio Martínez Arrieta y Cecilio Palencia, que me ayudaron a poner en marcha CadStar; Miguel Villamor y Antonio López, fundamentales para el éxito actual de Arris. Y, *last but not least*, Kenneth S. Ledeen, presidente de Sigma Design, que estuvo presente en los primeros momentos del desarrollo de la informática gráfica, y cuyos datos y sugerencias sobre el dibujo han sido siempre interesantes y divertidas.

F.V.

El presente trabajo proviene, pues, de dos fuentes distintas: la académica y la profesional. Para su elaboración se han aprovechado más de diez años de labor docente e investigadora en el campo del dibujo de arquitectura, y otros tantos de experiencia en el diseño y la utilización de programas para arquitectos. La estructura del libro y los diversos capítulos fueron concebidos, perfilados y revisados de común acuerdo. No obstante, la redacción inicial de los capítulos 3 y 4 y de la conclusión es de Jorge Sainz, la de los capítulos 1, 2, 5 y 6 es de Fernando Valderrama, mientras que la introducción se escribió —como se ha dicho— a dos teclados.

INTRODUCCIÓN

En su libro *L'idea de' scultori, pittori e architetti* (1607), Federico Zuccari concebía el *disegno* como algo formado por dos componentes: el *disegno interno,* es decir, la idea que el artista tiene en su mente y que trata de comunicar al mundo; y el *disegno esterno,* el dibujo o representación gráfica, que es la forma concreta en la que se reflejan las ideas anteriores.

Buena parte del trabajo del arquitecto consiste justamente en plasmar sus concepciones arquitectónicas tridimensionales en documentos gráficos bidimensionales —significativamente llamados *planos*— que permitan a otra serie de personas interpretarlos para hacer realidad las ideas espaciales que representan.

Y es precisamente esa labor de gestar ideas arquitectónicas (diseñar proyectos) y de representarlas gráficamente (dibujar planos), con el fin de construir edificios, lo que está sufriendo un proceso de transformación radical, que puede resultar decisivo para la arquitectura no ya del siglo XXI, sino de las últimas décadas del XX. Todo ello, naturalmente, a causa de la aplicación de los adelantos de la revolución tecnológica a una profesión hasta no hace mucho prácticamente artesanal.

El ordenador ha entrado en el estudio del arquitecto. Ésta es una realidad incontestable que los profesionales han de aceptar irremisiblemente. Muchos piensan que han «llegado tarde» a la informática, pero en realidad lo que ocurre es que no se sienten con ganas de modificar su método de trabajo. Casi todos están de acuerdo en utilizar los ordenadores para esas labores pesadas y repetitivas realizadas a veces por otros técnicos (pliegos de condiciones, mediciones, presupuestos, e incluso cálculo de estructuras e instalaciones). Pero todavía son pocos los que ven con entusiasmo la posibilidad de *concebir* y *diseñar* sus proyectos desde el primer momento delante de una pantalla, en lugar de sentarse ante su tablero de dibujo.

Sin embargo, hay que decir que aún estamos en las primeras fases de la historia informática en general, y de su aplicación gráfica en particular. Haciendo una analogía con el automóvil, es bien sabido que en los primeros tiempos de su existencia para conducir era necesario ser también un entendido en mecánica. Hoy en día la generalización de estas máquinas ha permitido que cualquiera pueda conducir sin saber muy bien cómo funcionan exactamente: basta

con saber manejarlas. Cuando se alcance este mismo nivel en la informática no será necesario leerse voluminosos tomos antes de utilizar un programa, sino que muchas operaciones ya habrán sido normalizadas, y el usuario deberá aprender solamente aquellas cosas que sean específicamente distintas; todo ello, ayudado siempre por la propia máquina, que seguramente incluirá —como ya ocurre, aunque todavía de un modo algo rudimentario— el propio proceso de aprendizaje del futuro usuario.

Igualmente, visto el esfuerzo necesario para conseguir reproducciones gráficas de cierta calidad, se puede decir que a la informática gráfica le quedan aún muchas metas que conseguir. A mediados de los años ochenta, Annabel Jankel y Rocky Morton hacían este curioso parangón: «Los últimos veinte años [de la informática] se pueden comparar a ese periodo de la vida humana que desde el nacimiento, pasando por la primera infancia (primeros pasos, muchos tumbos) y por la segunda infancia (voluble, egoísta, pero rápida en el aprendizaje), llega hasta la adolescencia, fase en la que se encuentran los sistemas actuales (limitados, imprevisibles, impacientes). Pero la madurez está a las puertas,... incluso se puede decir que en algunos casos estamos ya en la fase madura.» Las perspectivas de los años noventa nos hacen pensar que, por el momento, sólo estamos empezando a vislumbrar esa «fase madura».

La intención de este libro es llegar a todos los arquitectos que, no siendo expertos en informática, quieran utilizarla para sacar de ella todo el partido posible en su ejercicio profesional. Y, para ello, este trabajo se plantea dos objetivos fundamentales.

El primero es el de contribuir a que los arquitectos se pongan al día en cuanto a la situación actual de la informática específica para arquitectura, y en especial de la informática gráfica (lo que hemos denominado *infografía*). A este respecto, se ha hecho todo lo posible por describir con el mayor detalle posible el estado de la cuestión, pero los propios arquitectos deberían actualizar periódicamente toda esta información mediante la experiencia directa de nuevos sistemas y su comparación con los ya conocidos, con la lectura de otros medios de comunicación de periodicidad más frecuente y con la visita a ferias y otros acontecimientos comerciales.

El segundo objetivo es más duradero, y persigue el establecimiento de una sólida base terminológica y conceptual relativa no a la informática en general (hay muchos libros para ello), sino a la parte de la informática que tiene que ver con la arquitectura o —si se prefiere— a la parte de la arquitectura que tiene que ver con la informática.

A lo largo de estas páginas el lector encontrará referencias tanto a aspectos muy concretos que tienen que ver con las máquinas informáticas y los programas que las hacen funcionar, como a temas

genéricos y abstractos de las relaciones de la arquitectura con su representación.

El capítulo 1 hace un balance de la evolución de la informática para arquitectura en los escasos años de su existencia. Se dan algunas referencias *históricas,* y se hace un diagnóstico de la situación que se vive actualmente.

El capítulo 2 ofrece una detallada explicación de los diversos tipos de equipos, las diferentes clases de programas y los conceptos fundamentales que se manejan en la informática gráfica, lo que permite establecer las bases sobre las que se desarrollará el resto del contenido.

El capitulo 3 ofrece una aproximación al concepto de 'infografía arquitectónica', desde el marco más general de la informática gráfica hasta el campo específico del diseño asistido por ordenador. Se establecen asimismo las diferencias entre los dibujos tradicionales y las nuevas imágenes electrónicas. Finalmente, se propone una definición para esta nueva disciplina y se traza un recorrido por los atributos que caracterizan a los dibujos infográficos.

El capítulo 4 estructura el dibujo infográfico en tres categorías o dimensiones extraídas de la teoría gráfica arquitectónica. De este modo, se trazan comparaciones entre el dibujo tradicional y el infográfico en sus diversos aspectos utilitarios, formales y técnicos, para acabar haciendo una síntesis de las posibilidades de este nuevo sistema de representación.

El capítulo 5 explica las diferencias entre los planos tradicionales y el nuevo modelo infográfico, y la trascendental importancia de este concepto a la hora de entender la aplicación del ordenador a la arquitectura. Se detalla asimismo la noción de proyecto *asistido,* y se avanza lo que podría ser la nueva forma de representación de las ideas arquitectónicas: el *hiperproyecto.*

El capítulo 6 presenta algunas posibilidades de futuro en el campo de la infografía para arquitectura, en especial la realidad virtual y su producto más espectacular: el *ciberespacio.* Asimismo, se hacen breves consideraciones sobre la influencia que esta nueva concepción del dibujo y del proyecto tendrá en la arquitectura de los próximos años, a las puertas ya del siglo XXI.

Finalmente, se incluye una lista de los programas para dibujo y diseño arquitectónico que están actualmente a la venta en España, así como una breve bibliografía a la que se va haciendo referencia en el propio texto.

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

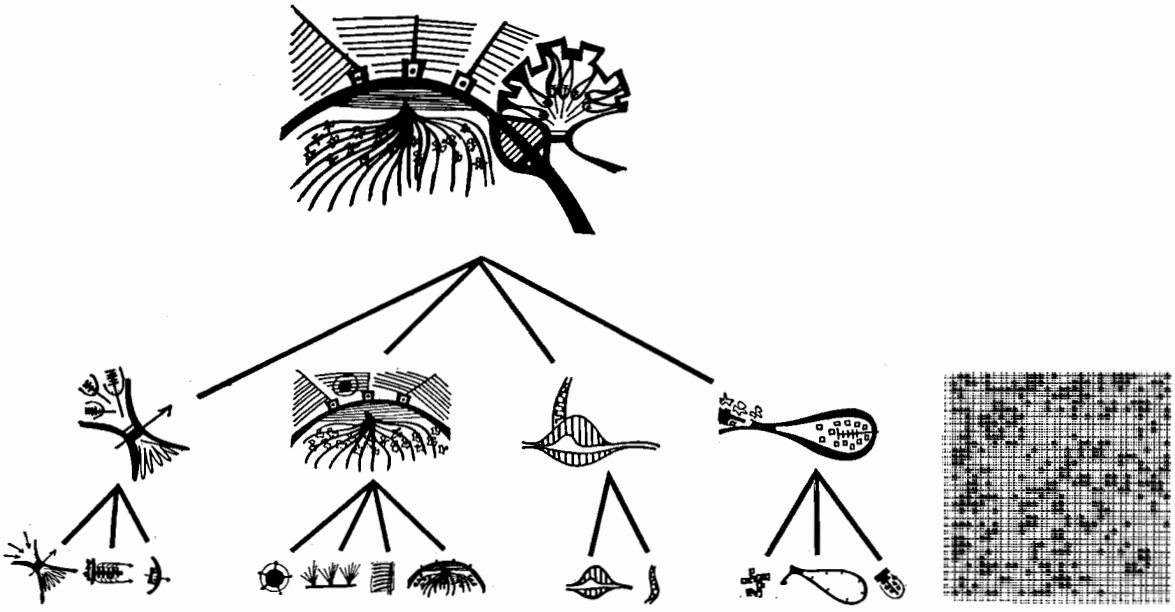
Una brevísima historia

En 1962 Ivan Sutherland escribió en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) el primer programa de ordenador capaz de dibujar una línea en una pantalla de rayos catódicos. Había nacido el CAD o Computer Aided Design (dibujo asistido por ordenador).

Sin embargo, aunque los arquitectos situados en posiciones de vanguardia o investigación recibieron los primeros ordenadores con euforia (típica, por otra parte, de finales de los años sesenta), no se interesaron demasiado por las técnicas específicamente gráficas, sino que, como Christopher Alexander, se concentraron en el uso del ordenador para la solución de problemas de *diseño* (figura 1). Llenos de optimismo, pensaron que, determinando los parámetros que condicionan una situación compleja, el ordenador encontraría rápidamente la solución óptima y más económica.

Ahora resulta fácil ver la enorme distancia que había entre los recursos de la época y los objetivos planteados, que se parecen a lo que ahora se denomina 'inteligencia artificial' y en lo que tan escasamente se ha avanzado. El cambio drástico de la situación mundial a mediados de los años setenta acabó con estos entusiastas. Y, lo que es peor, dejó una sensación de desilusión sobre la verdadera capacidad de los ordenadores, sensación que arraigó firmemente entre los arquitectos.

Los que se interesaron más bien por las capacidades gráficas de los ordenadores pudieron comprobar que éstas iban aumentando poco a poco. Los grandes ordenadores de aquellos días (llamados *mainframes),* con sus correspondientes terminales, no eran adecuados para realizar ningún tipo de dibujo. Pero pronto se construyeron monitores gráficos de bastante buena resolución, mediante una tecnología que hoy ha sido abandonada: las pantallas vectoriales. En ellas, el rayo de electrones no recorría sucesivamente las líneas horizontales, como en las pantallas actuales y en los televisores, sino que describía una tras otra las propias líneas del dibujo. Los trazos eran incluso más finos y precisos que los que se consiguen en la actuali-



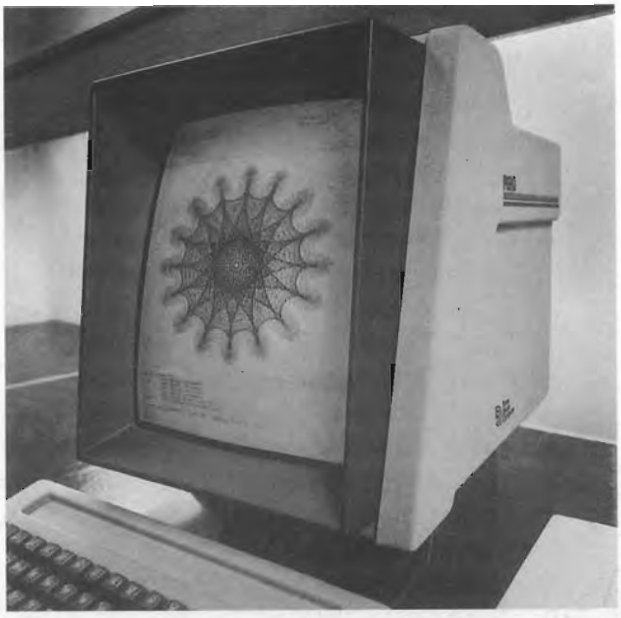
1. Christopher Alexander, árbol de diagramas para el diseño de una aldea *(izquierda)* y matriz de interacciones entre los 33 requisitos básicos de la vivienda suburbana en Norteamérica *(derecha)*.

dad, pero la complejidad de los dibujos estaba muy limitada. A partir de un cierto número de líneas, el rayo era incapaz de recorrer todo el dibujo a tiempo y se producía un parpadeo.

Estas pantallas solían conectarse a una nueva gama de equipos, los llamados 'miniordenadores', más especializados en cálculo. Una de las combinaciones más características de los años setenta era la formada por una pantalla vectorial Tektronix junto con un ordenador Prime o Vax de Digital —marcas, por cierto, que continúan dedicándose en la actualidad a la informática gráfica—; unos cuantos arquitectos pioneros se fotografiaron al lado de estas máquinas. Sólo a finales de la década aparecieron las primeras estaciones de trabajo de carácter individual, que combinaban una gran velocidad de proceso, alta resolución de pantalla y conexión en red (figura 2).

En cuanto a los programas, durante mucho tiempo se consideró como una unidad el ordenador, el sistema operativo —es decir, el programa interno necesario para el funcionamiento del aparato en sí— y el conjunto de programas propiamente dichos, habitualmente llamados 'de aplicación'.

Una misma empresa desarrollaba, instalaba y mantenía las tres cosas, dando lugar a una filosofía de ventas de gran éxito que se llamaba 'sistemas llave en mano'. Este método vinculaba para siempre a los clientes con un único fabricante y permitía, entre otras cosas, que se mantuviese un dogma considerado perpetuo: que un puesto de trabajo gráfico tenía que costar 100.000 dólares (en torno a seis millones de pesetas de entonces). No habiendo lugar para



2. PERQ fue la primera estación de trabajo de carácter individual. El equipo original fue fabricado en 1979 por la firma norteamericana Three Rivers Corporation, que posteriormente se asoció con la británica ICL.

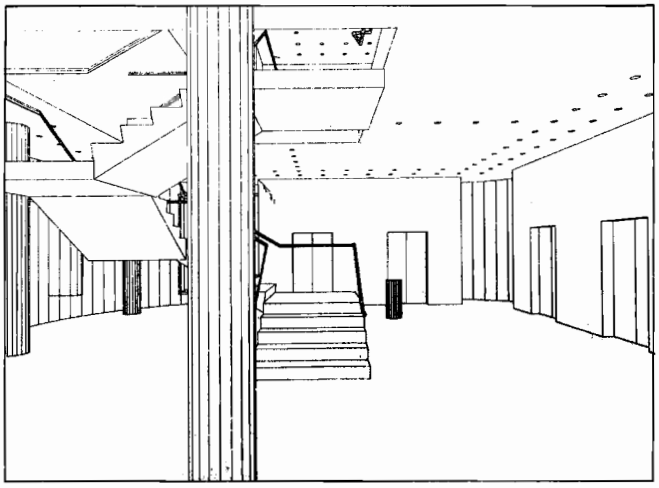
programadores independientes, los fabricantes sólo disponían de programas para quienes pudiesen pagar tales cantidades, clientes que generalmente se encontraban sólo en la industria. Los arquitectos, desde luego, no estaban en su punto de mira.

La arquitectura, por la estructura artesanal de su producción y el pequeño tamaño típico de los estudios u oficinas de proyectos, no tenía el suficiente atractivo económico para merecer desarrollos específicos. Sólo el diseño dedicado a la producción industrial garantizaba un número suficiente de clientes con un buen nivel de recursos.

Por ello, durante mucho tiempo no se hizo diferencia alguna entre dibujo por ordenador y dibujo *de arquitectura* por ordenador. Los sistemas gráficos no especializados solían llamarse 'de propósito general'; el primero de ellos fue comercializado a principios de los años setenta por ComputerVision (marca ya histórica que desapareció asociada con Prime en 1990).

En toda esta época, la informática gráfica para arquitectura fue un subproducto de los desarrollos pensados para otros campos de actividad o, sencillamente, una caracterización superficial de programas genéricos de dibujo plano o de diseño en tres dimensiones.

Paradójicamente, a medida que los sistemas iban disponiendo de recursos más potentes, el uso de programas genéricos se hacía cada vez más difícil. Un programa para dibujar en dos dimensiones (2D) requiere pocas opciones especiales para la arquitectura como, por ejemplo, el trazado automático de líneas dobles para muros y



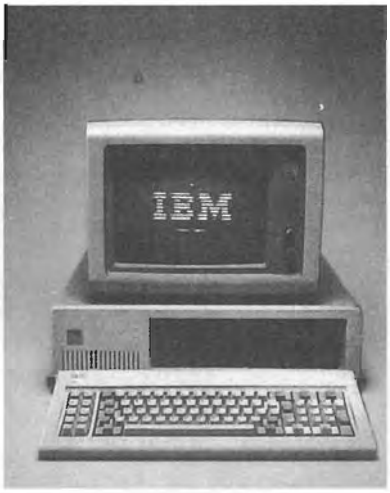
3. Perspectiva elaborada con RUCAPS (Really Universal Computer Aided Production System), uno de los primeros programas orientados al dibujo y diseño de objetos arquitectónicos; actualmente se denomina Sonata.

tabiques. Ha de disponer también de otros recursos no necesarios para la arquitectura, pero no habrá demasiadas interferencias entre unos modos de trabajar y otros. Además, los procedimientos, normativas y costumbres del dibujo plano son relativamente parecidos en unas y otras tecnologías.

Por el contrario, un programa de diseño en tres dimensiones (3D) necesita una especialización más decidida. Difícilmente se encuentra fuera de la arquitectura, por ejemplo, la necesidad de calcular perspectivas cónicas y sombras; además, la construcción de modelos en tres dimensiones es completamente diferente. Un programa desarrollado para el diseño de carrocerías es distinto del necesario para la mecanización de piezas con máquinas herramientas, y puede ser impracticable para construir un proyecto típico de arquitectura.

Durante toda la década de los setenta se realizaron programas experimentales específicos para arquitectura, tanto en el MIT como en otras universidades norteamericanas y británicas, pero parece que fue en estas últimas donde se terminaron los primeros programas que se planteaban un enfoque amplio, entendiendo por ello uno que incluyese, además del dibujo de planos, la documentación y la visualización de los proyectos. Estos sistemas (como GDS, de Applied Research of Cambridge, o RUCAPS, del Liverpool Centre for Aided Building Design, que más tarde dio origen a Sonata; figura 3), a pesar de su enorme interés y las grandes expectativas del momento, no quedaban al alcance de la mayoría de los arquitectos.

Con algunas excepciones de este estilo, hasta mediados de los años ochenta la situación de la informática gráfica específica para arquitectura era fragmentaria y un poco desoladora. Un arquitecto que se interesase por los programas gráficos para arquitectura co-



4. Primer modelo de Personal Computer de IBM. Desde su aparición en 1981, el PC se ha convertido en un estándar indiscutible en el cual se basan toda una serie de ordenadores denominados 'compatibles'.

mercializados en España poco antes de la aparición del ordenador personal de IBM encontraría una lista parecida a la siguiente:

— Benson 2000. Un ordenador diseñado exclusivamente para dibujo, que se manejaba mediante un tablero digitalizador de tamaño DIN A0. A título informativo puede decirse que costaba entonces siete millones de pesetas. La empresa francesa Benson, tras diversas vicisitudes, pasó a pertenecer en 1990 al grupo holandés Océ Graphics.

— Sidac. Un sistema español especializado en arquitectura, que funcionaba entonces sobre ordenadores Tektronix. Actualmente se llama Dibac.

— Varios programas de dibujo 2D sobre ordenadores Hewlett-Packard, como HP-Draft, EGS/200, Iris o Cero/0.

— Varios programas de dibujo y diseño (2D+3D) no especializados en arquitectura, como los de Intergraph (sobre ordenadores Vax), Medusa (sobre Prime) o ComputerVision.

Este panorama cambió radicalmente con la aparición del ordenador personal (Personal Computer o simplemente PC) de IBM, que marca el punto de inflexión donde se inicia la caída de costes y el aumento de prestaciones que han convertido los ordenadores en máquinas accesibles y asequibles para el trabajo de arquitectura (figura 4).

Esta máquina, lanzada por IBM en 1981, no fue en absoluto el primer ordenador personal, pero a él se debe en gran parte la floreciente situación actual, gracias al nacimiento de la 'compatibilidad', un concepto que indica que gran cantidad de fabricantes producen modelos de funcionamiento casi idéntico, o 'compatible', lo cual convirtió al PC en un estándar indiscutible. La compatibilidad y la consiguiente multiplicidad de fabricantes permitieron, a su vez, la

aparición de diseñadores de programas independientes y, con ello, la comercialización de gran cantidad de programas de todo tipo.

En octubre de 1984, apenas tres años después de la aparición del ordenador personal de IBM, la revista estadounidense *Architectural Technology* publicaba un estudio de seis programas de dibujo *asequibles* sobre ordenadores personales. Entre ellos estaban AutoCad, CadPlan (que luego dio origen a Cadvance, fue adquirido por Calcomp y posteriormente desapareció), RoboCad y VersaCad (adquirido por Prime y prácticamente retirado del mercado). Se consideraba que era *asequible* un sistema completo (incluyendo ordenador y programas) que costase en torno a 15.000 dólares, unos dos millones de pesetas de entonces. La pregunta era: «¿el dibujo asistido por ordenador de bajo coste es ya adecuado para el uso profesional?» La respuesta era concluyente: «sí, pero ¿está preparado el arquitecto?»

La situación actual

Los últimos cinco años han sido un periodo apasionante y vertiginoso de aparición de programas cada vez más especializados en la arquitectura, tanto para la automatización del dibujo como para la ayuda al proyecto en sí, y con una diversidad de enfoques cuyo análisis es extremadamente interesante.

Como resultado de esta diversidad, el arquitecto que se interesa por la automatización de su trabajo encuentra grandes dificultades para entender, siquiera a grandes rasgos, las características principales de cada programa. El arquitecto desconoce las semejanzas y las diferencias entre ellos y, en cualquier caso, no sabría qué decir aunque observase durante unas horas un sistema manejado por un experto.

La dualidad específica de la tecnología informática entre equipos *(hardware)* y programas *(software)* hace que el ordenador, como instrumento, esté en manos de especialistas en esta materia que colaboran con asesores a la hora de abordar aplicaciones concretas: en nuestro caso, referidas al dibujo y al proyecto de arquitectura. En lo relativo a los equipos, se trata de diseñar las máquinas más versátiles posibles, de modo que sirvan a múltiples tipos de actividades. En el caso de los programas, los especialistas —que incluso pueden ser equipos de arquitectos— tratan de crear un producto comercial para que los futuros usuarios simplemente lo disfruten, pero sin poder intervenir en su configuración, ni modificarla, al menos en un primer momento.

Así pues, el arquitecto está sometido al instrumento en dos niveles: el primero, el del propio utensilio físico; y el segundo, el del método de utilización de dicho utensilio. Ahora, el arquitecto que

quiera trabajar con un ordenador no sólo debe elegir entre decenas de aparatos de diversas marcas, sino que también ha de escoger el programa —léase método de trabajo— que va a emplear. Si el coste de ambas cosas no fuera tan alto, se podría decir que la mejor solución sería el método de la prueba y el error: se compra un sistema, se estudia, y si no se adapta perfectamente a nuestros requerimientos se desecha en favor de otro. Pero cambiar de equipo y programa gráfico no es como cambiar de marca de rotulador, sino que supone toda una inversión que hay que sopesar cuidadosamente.

A esto se une el hecho de que este tipo de programas están aún en fase de desarrollo. Más adelante explicaremos las diferencias entre programas 'de dibujo' y 'de diseño', pero conviene adelantar aquí que los primeros parten del plano para llegar al volumen, mientras que los segundos arrancan directamente del modelo tridimensional. Así pues, el futuro usuario se ve en la tesitura de tener que decidir por anticipado qué método de trabajo se adapta más a su forma de proyectar: algo que, probablemente, ninguno se había planteado nunca.

Las grandes categorías que el tiempo va decantando en cualquier tecnología no están todavía establecidas en la informática para arquitectura. Si la lexicología puede servir de referencia, existen pocos nombres que tengan un significado aceptado por todos, y algunos que lo tuvieron en un principio han sido devaluados por un uso completamente injustificado. Palabras como 'integrado', 'automático' o 'inteligente' se usan tanto que han perdido cualquier relación con sus significados originales. Otros conceptos se desplazan a tal velocidad que sólo deberían citarse añadiendo una fecha de referencia. Por ejemplo, el significado de 'alta resolución' o 'interactividad' cambia de año en año y parece imposible fijar unas condiciones exactas.

Algunos términos con significados precisos y especialmente importantes son poco conocidos y su difusión ahorraría muchas y complicadas explicaciones, como es el caso de 'asociatividad' o 'transparencia' (que no tiene nada que ver con la cualidad de ver a través de los objetos). Por último, otras propiedades o procesos completamente nuevos carecen todavía de nombre adecuado (como ocurre en el Macondo de *Cien años de soledad)* o de traducción aceptada al castellano. Entre ellos, el proceso de retocar una imagen incluyendo colores, texturas y sombras (denominado *rendering)* y el conjunto de reglas que definen la comunicación de un usuario con un proceso informático *(user interface).*

El arquitecto, poco ayudado por esta terminología, observa además impresionantes resultados finales (planos, imágenes). No recibe, sin embargo, información precisa sobre los recursos necesarios

para conseguir estos resultados, en términos del grado de automatismo de su generación, la cualificación y formación requeridas por parte del usuario o la integración e interdependencia de los datos. Además, la informática resulta especialmente opaca para permitir una evaluación adecuada a quien sólo ve resultados finales. Un alzado dibujado por un trazador *(plotter)* puede ser el producto automático de un programa que conoce por completo la geometría del edificio o, por el contrario, el resultado laborioso de un delineante que, usando un programa de dibujo, lo ha introducido línea por línea como lo habría hecho en un papel vegetal.

Para complicar aún más las cosas, el arquitecto poco experto tiene una escala de prioridades que ha de ir corrigiendo con la práctica. Quienes todavía no se han familiarizado con los ordenadores esperan de ellos facilidad de manejo, velocidad y espectacularidad de los resultados. Sin embargo, los arquitectos que ya han pasado por la puesta en marcha de un sistema informático se preocupan más por la capacidad de compartir información (por ejemplo, la existencia de símbolos, plantillas y tipos de letras ya preparados), la posibilidad de unir los puestos de trabajo ('conectividad') o la formación y el tipo de modificaciones que requerirá en la organización de su estudio.

El resto de instituciones que rodean la informática para la arquitectura no están en mejor situación.

Entre los *expertos* se dan dos situaciones igualmente exageradas: la que surge del interés comercial, que convierte la informática en un mito y que trata de convencer al arquitecto de que los resultados se obtienen sin más que pulsar un botón; y la que considera el ordenador como un tabú que pone la fuerza de los dioses en las manos de los irresponsables humanos y que anula la creatividad y la capacidad de decisión más elemental.

En las escuelas de arquitectura, por ejemplo, se ve la informática a través de una serie asombrosa de prejuicios, que se basan probablemente en el terror de los profesores a que los alumnos lleguen a aprender más deprisa que ellos, así como en la idea de que estudiar algunas asignaturas puede resultar poco atractivo cuando las máquinas llegan a resolver por completo ciertos problemas. Idea que, de no mediar alguna solución imaginativa, puede convertirse rápidamente en realidad en algunos casos, y que tiene que ver con el futuro de las asignaturas de matemáticas ante la difusión de las calculadoras.

Los estudiosos o investigadores no han recuperado nunca ese interés inicial perdido, como si exigiesen del ordenador 'todo o nada'. Como resultado, están dejando pasar los años de mayores expectativas y avances, que tratan de no ver y que critican con argumentos que han dejado de ser aplicables. Ésta es una situación

empobrecedora, porque priva a la informática para arquitectura de la ayuda de la investigación y del soporte teórico.

Aunque la producción de tesis e investigaciones sobre temas de teoría es amplia y está bien valorada —al menos en lo que se refiere al prestigio personal—, se da por supuesto que la teoría carece de conexión con la práctica, y cuando podría no ser así —como ocurre con la informática— se levantan rígidas barreras que separan un tema de otro y se tacha de tecnológico cualquier intento de aproximarlos.

Entre estos temas de interés común —como veremos más adelante— se encuentran todas las características que hacen de la arquitectura un campo específico, diferente al de las demás técnicas que manejan también sólidos de tres dimensiones en el espacio, y que tienen que ver con la escala y la métrica en general del espacio de la arquitectura, la especial abstracción de la representación y otros aspectos de gran interés teórico.

Por tanto —y aunque no suelen ser conscientes de ello—, los que desarrollan los programas que van a usar los arquitectos se ven obligados a partir de la nada para definir los modelos y las estructuras de datos en que se basan sus programas. En muchos casos, estas estructuras se improvisan agregando, de forma más bien *aditiva*, elementos geométricos sobre un núcleo genérico de dibujo que ha dado buen resultado. Se incorporan líneas dobles automáticas para representar los muros; en versiones posteriores se les dota de un grafismo más complejo, para tener en cuenta varias capas y cámaras de aire; luego se les añade la altura y más adelante se les incorporan grafismos para los alzados.

Otras veces se parte de un análisis más premeditado sobre la modelización de la arquitectura, lo que da lugar a enfoques innovadores y generalmente muy integrados. El muro del ejemplo anterior es ahora un elemento cargado de información, con grafismos capaces de adaptarse automáticamente a cualquier escala, tridimensional e integrado con sus propios datos de coste y condiciones de ejecución.

Como todo esto, además, ha de realizarse en un entorno que se modifica rápidamente y en un mercado ávido de nuevas versiones, el tiempo que transcurre desde que se realiza el *invento* hasta su comercialización y su uso se reduce hasta llegar a medirse en días. Es dudoso que haya habido, incluso en estos tiempos recientes, otra tecnología con un tiempo de puesta en práctica tan corto. Este ciclo *comprimido* hace que se programe primero, se utilice después, y se investigue y compruebe en último lugar (tarea que realiza el arquitecto, seguramente sin desearlo y, además, pagando por ello).

Como resultado de esta situación, el arquitecto individual está más al día que la escuela, y la feria comercial presenta más innova-

ciones que el congreso especializado. Esta misma velocidad sugiere un mecanismo de información extremadamente ágil. Sólo las revistas y las exposiciones pueden estar al tanto de las novedades. Es difícil hacer evaluaciones rigurosas de cada sistema o comparaciones entre varios de ellos. En el tiempo de definir las especificaciones de la prueba, reunir el material y aprender a manejarlo, algunos habrán caído en desuso mientras que otros dispondrán de nuevas versiones con muchas más posibilidades.

Por otro lado, actualmente el ordenador se está considerando en principio como un simple instrumento para facilitar la labor del arquitecto. Es decir, que ahora con el ordenador se pretende realizar el mismo trabajo que antes, pero ahorrando tiempo y esfuerzo —lo cual, por el momento, no está tan claro que se consiga—, mientras que probablemente en el futuro el medio informático habrá modificado también la cualidad del propio trabajo.

Por poner un ejemplo: actualmente los proyectos elaborados por ordenador se hacen directamente sobre la pantalla, de modo que se pueden modificar miles de veces sin ningún problema; en el momento en el que se decide que el proyecto está terminado, se dibujan los planos como si fueran planos tradicionales, sólo que ahora están realizados mediante un trazador gráfico o *plotter*. La extraordinaria facilidad para introducir cambios lleva a hacerlos con más *alegría* que cuando eso significaba retocar una docena de planos acabados. Además, tal facilidad es engañosa, pues se pierde cuando los planos se convierten en objetos físicos —es decir, en dibujos tradicionales—, imprescindibles por el momento para que un edificio se construya. Hacer una pequeña variación en estos planos es más lento y más costoso (al menos hoy) que raspar y redibujar a la manera tradicional, pues se ha de repetir el plano completo en el trazador.

En la situación actual, el error seguramente está en la utilización de la informática sólo para la fase inicial en lugar de aplicarla a todo el proceso de la construcción del edificio, desde su concepción gráfica hasta su realización física. No resulta muy difícil pensar que en un próximo futuro en las obras habrá otro ordenador en el que esté toda la información necesaria para construir el edificio, y que sólo se extraerá en el momento preciso en que sea requerida.

Otro aspecto que caracteriza el panorama actual de la infografía arquitectónica (si bien en este caso se está evolucionando muy rápidamente) es el hecho de que, por el momento, los llamados periféricos —la parte de los equipos dedicada a la entrada y salida de información: pantallas, impresoras, trazadores, etcétera— no están a la altura de los procesadores. Con el ordenador se pueden hacer proyectos completos de los que se generan no sólo los planos tradicionales, sino también imágenes casi fotográficas de cómo que-

dará. Se crean perspectivas desde diversos puntos de vista que se pueden enlazar para formar recorridos en torno al edificio y en su interior. Se crean axonometrías que ponen de manifiesto las cualidades volumétricas y espaciales del objeto arquitectónico proyectado. Y, por supuesto, se crean plantas, alzados y secciones. Todas estas imágenes pueden estar aderezadas con texturas superficiales, colores y sombras propias y arrojadas, lo que las hace extraordinariamente atractivas a ojos no sólo del profano, sino también del propio arquitecto.

El problema es que estas imágenes están, por decirlo así, *atrapadas* en el procesador, del cual sólo pueden salir por la pantalla para ser vistas como un *videoclip*. Por el momento no es fácil conseguir que estas maravillosas imágenes se conviertan en auténticos dibujos, o sea, elaboraciones gráficas sobre un soporte superficial lo más parecido al papel y que puedan ser fácilmente transportadas y observadas con detenimiento en cualquier sitio. Mejor dicho, sí hay formas de conseguirlo, pero por ahora el coste es tan elevado que no merece la pena intentarlo. Por ejemplo: hacer una detallada perspectiva a la acuarela en tamaño DIN A2 que incluya todas las variables gráficas mencionadas puede llevar como mucho dos semanas de trabajo de un buen dibujante. Hacerla en un ordenador lleva mucho menos tiempo, pero es muy difícil obtener una buena reproducción de ella sobre papel.

Algo semejante ocurre en sentido inverso. Introducir la información de un objeto arquitectónico existente (con cualquier finalidad) requiere un esfuerzo y un tiempo mayores que el hacerlo de un modo tradicional, es decir, trabajando con planos. Igualmente, los escáneres y las cámaras de vídeo también pueden enviar información gráfica al procesador, pero la calidad de esta información no tiene la precisión que ha de caracterizar el proyecto arquitectónico.

En esta situación, el arquitecto que quiere introducir la informática en su estudio profesional se encuentra, en general, algo despistado en cuanto a los equipos y los programas que más se adecuarán a su método de trabajo. Por ello, lo primero que conviene aclarar es de qué se compone un sistema infográfico y cuáles son las claves para su elección.

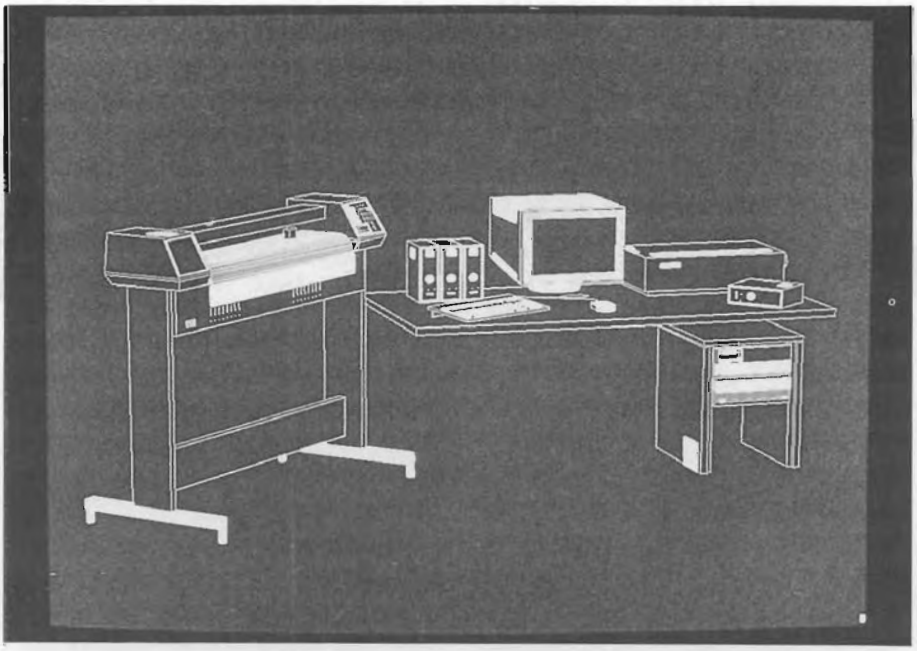
Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS INFOGRÁFICOS

Equipos

Para entender de forma general el panorama de los sistemas gráficos para arquitectura no es excesivamente importante un conocimiento detallado de los ordenadores. En realidad, un repaso a la situación actual podría iniciarse directamente comentando sólo los programas, sus categorías y sus tendencias, y añadiendo únicamente una breve referencia a los ordenadores o sistemas operativos en los que funcionan. Esto habría sido imposible hace sólo dos o tres años, cuando el tipo de ordenador delimitaba muy claramente las características de cada programa, y cada programa iba vinculado generalmente a una clase de ordenadores o incluso a una marca muy determinada.



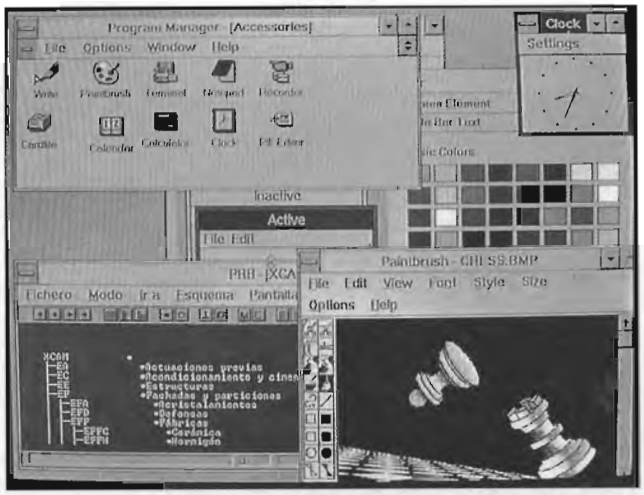
5. El equipo o *hardware* de un puesto de trabajo infográfico suele constar de un procesador más bien potente, una pantalla de alta resolución, un teclado, un ratón, una impresora y un trazador.

6. Ordenador personal compatible. La *arquitectura* sencilla y abierta del Personal Computer de IBM permitió a otros muchos fabricantes construir reproducciones idénticas o 'clones'.

Los vendedores de programas han afirmado durante mucho tiempo su lema «elegir primero el programa y luego el ordenador», pero sólo muy recientemente puede decirse que éste sea verdaderamente un consejo apropiado. En realidad, la situación resumida a este respecto podría ser la siguiente:
— años setenta: se elige primero el *ordenador* y después se acepta el *único* programa de que dispone;
— años ochenta: se elige primero el *ordenador* y después se escoge *uno* de los programas que funcionan en él;
— años noventa: se elige primero el *programa* y después se escoge *alguno* de los ordenadores en los que funciona.

Puede confirmar este desiderátum el hecho de que AutoCad, el más difundido de los programas de dibujo de propósito general, funcione al menos en diez sistemas operativos diferentes, lo que significa cientos de marcas distintas de ordenadores (entre compatibles y no compatibles).

A pesar de lo anterior, parece inevitable dedicar un espacio a revisar las tendencias más actuales de los ordenadores adecuados para aplicaciones gráficas. Hay, además, dos aspectos técnicos a los que, por su importancia creciente para la arquitectura, conviene dedicar una explicación: la forma de conectar ordenadores entre sí (las 'redes') y sus características gráficas. Posteriormente añadiremos algo sobre los sistemas de reproducción de imágenes, como impresoras y trazadores. Deliberadamente, hemos eludido dedicar mucho tiempo a elementos de la informática demasiado específicos o variables, que pueden conocerse adecuadamente mediante otros recursos y de los que, por otra parte, no es demasiado difícil entender todas sus características; por las mismas razones, evitaremos referencias demasiado coyunturales o demasiado comerciales.



7. Imagen típica del entorno Windows, un *user interface* que amplía el sistema operativo de los ordenadores compatibles y permite ejecutar a la vez varios programas, cada uno en una *ventana* o porción de la pantalla.

La primera consideración es que los ordenadores pueden entenderse muy bien si se clasifican en tres familias bastante diferentes: ordenadores personales o 'compatibles', Macintosh y estaciones de trabajo.

Compatibles

Los ordenadores compatibles se basan en el diseño del Personal Computer o PC de IBM. Su microprocesador es siempre de la familia 80X86 de Intel y el sistema operativo es el conocido MS-DOS o PC-DOS, desarrollado por la firma norteamericana MicroSoft.

El éxito comercial de este 'ordenador personal' y su diseño abierto y sencillo facilitaron que un gran número de fabricantes construyeran este tipo de máquinas y le aseguraron una enorme difusión y un precio económico. Es curioso que el término 'compatible' que define estos ordenadores sea originariamente un eufemismo, ya que su verdadera denominación debería haber sido más bien la de 'reproducciones' o 'clónicos' (figura 6).

Para estos ordenadores existe un número casi ilimitado de programas a disposición de los arquitectos: centenares de los llamados 'horizontales', como tratamientos de textos y hojas de cálculo; otros más profesionales, como cálculo de estructuras o presupuestos y mediciones; y, desde luego, muchos de dibujo más o menos especializados.

Los ordenadores personales no son sólo económicos. También son versátiles —adaptados tanto al cálculo como a la gestión o incluso al dibujo—, rápidos y abiertos (un equipo configurado para dibujo puede tener componentes de cuatro o cinco fabricantes distintos).

Multitud de arquitectos de todo el mundo se han iniciado en la

informática con estos equipos, y son difíciles de sustituir en todo tipo de trabajos de gestión y cálculo propios de un estudio de arquitectura. Tienen, sin embargo, un techo en sus posibilidades. El esquema básico de los ordenadores compatibles (lo que en informática se suele llamar precisamente su 'arquitectura') y el sistema operativo MS-DOS sufren unas limitaciones muy importantes, que se pusieron de manifiesto mucho antes de lo que habían pensado sus diseñadores. Las más relevantes son:
— límite a la memoria interna convencional de 640 Kb, lo que pone un tope a la complejidad y el tamaño de los programas que pueden ejecutar;
— ausencia de gráficos como equipamiento de serie, lo que ha dificultado la existencia de estándares;
— sistema operativo *monotarea* (un sólo trabajo en cada momento) y *monousuario* (cada ordenador sólo controla una pantalla y un teclado), lo que hace que las tareas secundarias, como el trazado de un plano, dificulten el uso del ordenador para el diseño o el dibujo;
— falta de un sistema estándar para la conexión de equipos entre sí, lo que entorpece el establecimiento de grupos de trabajo.

Estas limitaciones se han ido superando mediante diferentes soluciones aportadas por unos y otros fabricantes, pero se ha creado así una increíble maraña de incompatibilidades, que aparecen cada vez que se superan unas determinadas capacidades básicas que son las que caracterizan el nivel de la *compatibilidad.*

La capacidad gráfica es uno de los casos más ilustrativos. El PC original carecía de una pantalla capaz de mostrar gráficos, por lo que las primeras soluciones fueron aportadas por empresas distintas de IBM, como Hércules. IBM produjo posteriormente adaptadores gráficos como el Color Graphics Adapter (CGA), con una 'resolución' o posibilidad de marcar en pantalla 320 puntos horizontales y 200 verticales, el Enhanced Graphics Adapter (EGA, 640 x 350 puntos) y el Video Graphics Adapter (VGA, 640 x 480 puntos). Cada uno de estos adaptadores dominó en el mercado durante unos años, pero, siendo resoluciones demasiado bajas para el dibujo profesional, aparecieron un gran número de placas gráficas de distintos fabricantes más adecuadas, con resoluciones superiores a 1000 x 800 puntos. Sin embargo, estos adaptadores están por encima del nivel de la compatibilidad, con lo que se pierde una de las mayores ventajas de estos ordenadores: ningún programa de dibujo funciona en todas las placas (salvo, quizás, AutoCad) y ninguna placa soporta todos los programas.

De forma parecida se han superado las restantes limitaciones. Por ejemplo, el entorno gráfico Windows —un avanzado ejemplo de lo que ya hemos definido como *user interface*— es una ampliación del sistema operativo que permite ejecutar al tiempo varios progra-

mas, cada uno en una 'ventana' o zona propia de la pantalla, y que hace casi olvidar que se trata de un sistema monotarea (figura 7). Sin embargo, se programa de forma completamente diferente al sistema operativo original, por lo que todavía no existe casi ningún programa de dibujo que funcione en él.

Otra posibilidad de los ordenadores compatibles es instalar un sistema operativo distinto del MS-DOS. Este es el caso del OS/2 (desarrollado por MicroSoft como sustituto a medio plazo del MS-DOS), o de Unix (un sistema operativo con el que un PC se convierte virtualmente en una estación de trabajo, categoría que se describe un poco más adelante).

Esto no quiere decir que el ordenador compatible sea una elección equivocada: muchos arquitectos lo utilizan con un rendimiento excelente. Pero sí sugiere que en el futuro hay que buscar formas de solucionar estas limitaciones que sean diferentes a las actuales y más adecuadas a los usos profesionales.

Macintosh

La alternativa más familiar a los compatibles la constituye el conjunto de ordenadores fabricados por Apple: los Macintosh. El diseño de estos ordenadores trata de ponerse en el lugar del usuario, buscando una utilización sencilla y agradable en lugar de perseguir otras metas de carácter técnico como velocidad o compatibilidad con otros fabricantes (figura 8).

Para ello, todos los procesos de selección se realizan mediante *menús* o *paletas* que señalan claramente en pantalla las opciones disponibles, y que se pueden seleccionar usando el *ratón.* Las opciones y los ficheros se representan generalmente mediante pequeños dibujos de carácter simbólico que se llaman 'iconos'. Además, existen unas reglas comunes para la utilización de estos recursos, de manera que todos los programas de Macintosh disponen de parecidas instrucciones: si se sabe manejar un programa, se conocen todos. Ésta es una de las aportaciones más interesantes de Macintosh: su característico sistema de diálogo con el usuario o *user interface,* que se hace insustituible para quienes se acostumbran a él (figura 9).

Apple ha tenido un éxito indudable. Aunque hay menos Macintosh que compatibles, el porcentaje de penetración o cuota de mercado, para tratarse de una sola empresa, es enorme. Los Macintosh son extraordinariamente compatibles entre sí, por lo que un programa que funcione en uno de ellos lo hace también en cualquier otro. Además, tienen unas características gráficas muy interesantes, ya que los gráficos son su forma originaria y natural de trabajo.

Los programas de dibujo se aprovechan muy bien de estas dos particularidades juntas. Utilizando nuevamente AutoCad como ejemplo, una determinada versión que incluía 130 opciones distin-

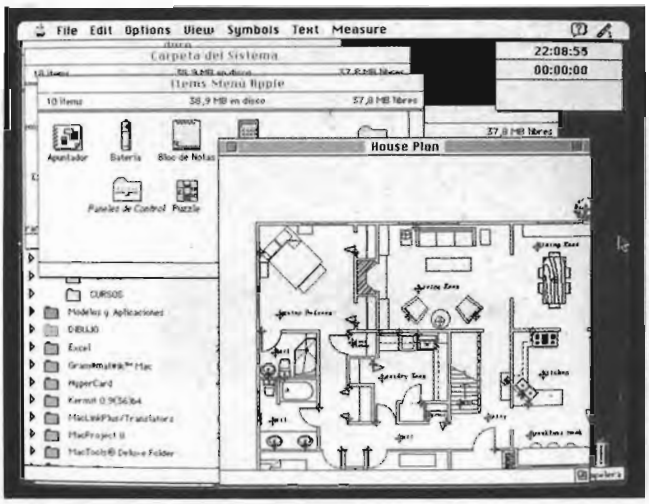
8. El ordenador Apple Macintosh es desde hace años la gran alternativa a los compatibles. Su diseño busca sobre todo la sencillez de manejo, para lo cual su *user interface* se basa fundamentalmente en la comunicación visual..

tas para ordenadores compatibles necesitaba sólo una para todos los tipos de Macintosh, incluyendo varias resoluciones distintas de pantalla. Otra ventaja de Macintosh es la capacidad de soportar varios programas al tiempo —aunque no se trate propiamente de un sistema multitarea— y, lo que es más importante, la facilidad con la que pueden comunicarse información entre ellos.

Esto quiere decir que los resultados de un programa pasan a ser los datos de otros con gran facilidad: un programa de dibujo puede crear una perspectiva que puede traspasarse automáticamente a un programa de creación artística, donde se puede retocar y montar sobre un fondo, para posteriormente enviar el conjunto a un tratamiento de textos que lo incorpora en la documentación del proyecto. Se pueden integrar texto, gráficos de puntos y vectoriales, fotografías, registros de bases de datos e incluso música o imágenes de animación. Como resultado, y aunque hay menos programas para Macintosh que para ordenadores compatibles, el dueño de un Macintosh suele usar por término medio más programas que el propietario de un compatible.

Con estas características, no es sorprendente la difusión de Macintosh en los estudios de arquitectura de muchos países, aunque sea una difusión muy selectiva: hay países *muy* Macintosh, como Estados Unidos y Francia, y países *poco* Macintosh, como España.

También es selectiva la abundancia de programas sobre Macintosh: es muy grande en autoedición, enseñanza y gráficos de todo tipo, y es menor en gestión y en programas técnicos especializados. Se considera también que son ordenadores menos potentes que los compatibles —a igualdad de precio—, lo que ha limitado hasta ahora su uso a entornos con necesidades no intensivas: la velocidad



9. La pantalla típica de un Macintosh presenta en forma de *menús* o *paletas* las posibles opciones, que se eligen marcando con el cursor y pulsando el ratón.

no es importante para el diseño de un logotipo o la maquetación de una página, pero sí para el manejo de un plano que ocupa un DIN A0.

Estaciones de trabajo

La tercera categoría de ordenadores adecuados para dibujo es mucho más variada y dispersa que las anteriores: se trata de las denominadas 'estaciones de trabajo' o *workstations*. Una estación de trabajo es un ordenador especializado en gráficos, con un microprocesador que puede pertenecer a diversos fabricantes, pero siempre muy potente, con una pantalla gráfica de alta resolución (mayor de 1000 x 800 puntos), un sistema operativo multiusuario y multitarea, generalmente una variante de Unix, con un sistema integrado de conexión con otros ordenadores o 'red', y un *interface* de usuario basado en ventanas.

Como ya hemos adelantado, la primera estación de trabajo se llamaba PERQ y fue lanzada por la firma norteamericana Three Rivers Corporation en 1979 (figura 2). El año siguiente apareció la de Apollo, y en 1982 la de Sun, empresa que consiguió popularizar este tipo de equipos [véase Hopgood y Duce, «Future Developments in Graphics and Workstations», p. 2]. Las estaciones de trabajo surgieron como alternativa a los miniordenadores (máquinas que, paradójicamente, eran bastante grandes), y con la filosofía básica de 'un ordenador por cada puesto de trabajo gráfico'. Actualmente hay varios fabricantes relativamente igualados, como el propio Sun, Hewlett-Packard, Silicon Graphics, Digital y, recientemente, incluso IBM (figura 10).

Éste el segmento donde el cambio en los últimos años ha sido

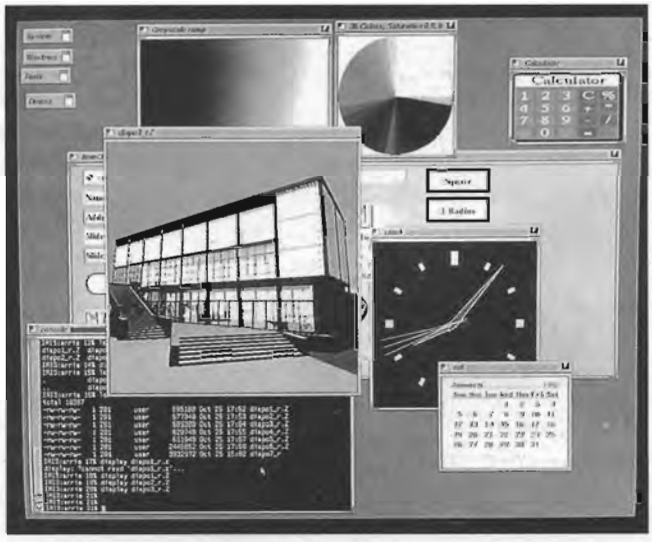
10. Las estaciones de trabajo son ordenadores especializados en gráficos, con un procesador muy potente, una pantalla de alta resolución y un sistema operativo multiusuario y multitarea.

más acelerado, lo que impide concretar una visión que se mantenga válida un tiempo razonable. La velocidad de cálculo se dobla aproximadamente cada año, y las versiones de los sistemas operativos se sustituyen hasta dos y tres veces al año.

En los últimos tiempos, las estaciones de trabajo se han convertido en máquinas extraordinariamente potentes en cálculo intensivo y en gráficos. Han sido también ordenadores caros, debido a la falta de rivales adecuados en un sector donde los fabricantes de grandes ordenadores no intervenían y en el que los ordenadores personales eran demasiado pequeños para competir.

Su principal problema ha sido el de haber mantenido elevadas cotas de incompatibilidad. Existen varios acuerdos entre compañías para definir un único sistema operativo Unix y también para unificar sistemas de ventanas y de diálogo con el usuario, como parece que ocurrirá con X-Window, Motif o Presentation Manager (figura 11). Pero, por el momento, los intereses comerciales han impedido una profundización de estos acuerdos y las luchas por la definición de estándares en redes o formatos de intercambio están en su momento culminante.

Algunas de sus ventajas todavía no han sido superadas. Entre ellas destacan su facilidad para unirse en redes incluso con equipos de distintos fabricantes (lo que las convierte en el único sistema profesional de trabajo en los estudios de arquitectura de gran tamaño), y sus subsistemas gráficos especializados en tres dimensiones, como el VPRX de Hewlett-Packard o el PowerVision de Silicon Graphics, que permiten conseguir animación de modelos de arquitectura prácticamente en tiempo real.



11. La pantalla de una estación de trabajo ofrece la posibilidad de extender la calidad de sus gráficos a cada una de las ventanas, en las que se pueden ejecutar simultáneamente varios programas.

En este momento los precios de las estaciones de trabajo han descendido, mientras que la capacidad de los ordenadores personales ha alcanzado un nivel comparable. Hay razones en ambos sentidos para la elección de uno u otro tipo, siendo la integración y la potencia de unos la contrapartida de la compatibilidad y la flexibilidad de los otros. También Macintosh está muy igualado en este enfrentamiento, gracias a su facilidad de uso y a su capacidad de comunicar información. Es ésta una situación positiva para los arquitectos, que en el caso de algunos programas —y según una tendencia que se prevé creciente en el futuro— pueden incluso elegir si desean utilizarlos en uno u otro tipo de sistemas.

Redes

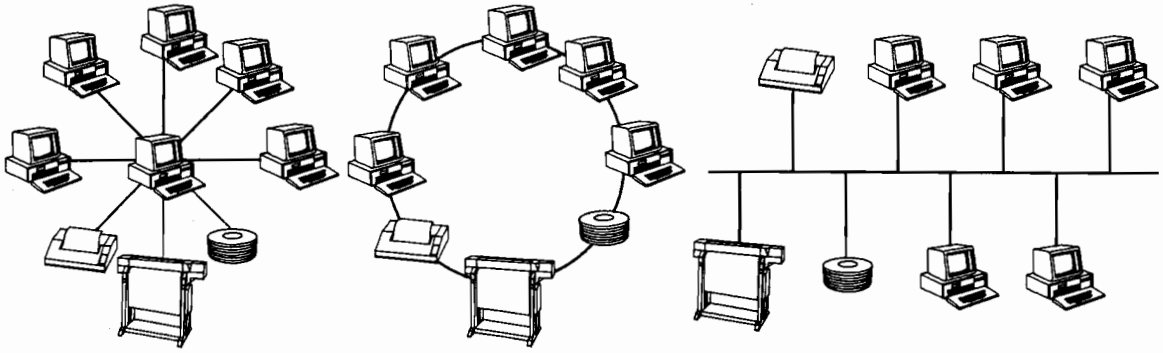
Conectar varios ordenadores entre sí para que la información de cada uno sea accesible por todos los usuarios es una vieja aspiración que ha encontrado diferentes soluciones con los años. Simplificando una vez más la situación por décadas, esta conexión puede caracterizarse de la siguiente forma:

— años setenta: gran ordenador con terminales; la potencia se reparte entre todos los usuarios;

— años ochenta: pequeños ordenadores independientes; cada uno usa la potencia de que dispone;

— años noventa: ordenadores de varios tipos conectados en *redes;* cada persona usa tanta potencia como necesite.

La complejidad de las redes —que se van a popularizar en un futuro no muy lejano— requiere una cierta explicación. Un ordenador independiente, de cualquiera de los tres tipos descritos más



12. Una red consiste en conectar varios ordenadores para que los diversos usuarios puedan compartir potencia, velocidad e información. Los tres tipos básicos de redes son *(de izquierda a derecha):* en estrella, en anillo y en línea.

arriba, dispone de una unidad central de cálculo con un microprocesador y una memoria, lo que determina su velocidad de proceso, y una unidad de almacenamiento masivo (generalmente un disco 'duro' o 'fijo') que mide su capacidad de contener información.

Cuando se dispone de dos o más ordenadores en un estudio de arquitectura parece natural que la información almacenada en cada uno de ellos sea accesible por los usuarios de los demás. Por ejemplo, si se está trabajando en un proyecto con dibujos repartidos en varios ordenadores, lo ideal es que cada puesto pueda acceder a los dibujos de otros que le sirvan de referencia. La conexión que permite este tipo de trasvase de información, sin necesidad de recurrir a un intercambio masivo de disquetes, es una red (figura12).

Una red convierte la información dispersa en los puestos de trabajo en una información accesible a todos. La red no se limita a esta posibilidad, sino que puede gestionar también la *propiedad* de la información y su uso adecuado, es decir, el sistema de autorizaciones por el que se establece quién puede modificar cada plano y quién tiene sólo derecho a visualizarlo.

Yendo más allá, y por comparación con los sistemas de terminales que se usan normalmente en trabajos administrativos, uno suele plantearse la posibilidad de compartir también los programas, de forma que un único programa de dibujo, por ejemplo, sea suficiente para todos los puestos, y que en éstos se puedan instalar terminales, en lugar de ordenadores completos.

El diseño de los ordenadores gráficos ha excluido tradicionalmente esta posibilidad: una pantalla gráfica requiere habitualmente un ordenador completamente *dedicado.* El primer paso en esta dirección lo da la posibilidad de instalar puestos gráficos sin disco, generalmente mediante estaciones de trabajo. Cada puesto sigue siendo un ordenador, pero el almacenamiento local (el disco fijo) desaparece y se centraliza en uno de los puestos, generalmente el de mayor potencia, con lo que se simplifica el control de la información.

Sin embargo, la tecnología X-Window permite ir aún más lejos e

instalar directamente terminales gráficos, de forma parecida a los antiguos terminales alfanuméricos. Los terminales gráficos son pantallas de alta resolución y, además, requieren una capacidad de proceso bastante elevada, pero no son ordenadores completos y, por tanto, resultan bastante más económicos.

En un terminal X-Window se puede utilizar un programa que en realidad está siendo ejecutado en la memoria de un ordenador remoto, y al que tiene que estar conectado mediante una red. X-Window utiliza un sistema cada vez más difundido: la filosofía 'cliente-servidor'. Con este sistema los procesos de cálculo y los propiamente gráficos se reparten entre el ordenador central o 'servidor' y el terminal o 'cliente', de forma que cada uno usa de la manera más adecuada su propia potencia y el tráfico de información por la red se minimiza.

Por ejemplo, un programa de cálculo de estructuras puede ejecutarse en un ordenador remoto y potente, donde se realiza el proceso de cálculo en sí, mientras que la entrada de datos y la presentación de los resultados, junto con sus manipulaciones más sencillas, pueden ejecutarse en un terminal de bajo coste. Aún más interesante: todo programa preparado para X-Window puede usarse así de forma natural, sin más que indicar al sistema dónde ejecutar el programa y ante qué pantalla va a estar sentado el operador.

Un ordenador cualquiera puede convertirse mediante los programas adecuados en un terminal de un servidor X-Window. Se tiene así lo mejor de ambos mundos: un ordenador independiente cuando se necesita y una conexión a través de la red a cualquier otro sistema más especializado o más potente.

Un arquitecto puede tener en su despacho un ordenador personal, que utiliza habitualmente para escribir o calcular con los programas normales en este tipo de ordenadores. Si lo desea, puede convertirlo por un momento en un terminal X, abriendo una *ventana* en la que arranca el programa de dibujo utilizado en su estudio, que se ejecuta en un ordenador mucho más potente. Sin moverse de su sitio puede así comprobar la evolución de un proyecto, modificar un plano, reproducir algunas imágenes o enviar una nota a uno de los delineantes por el *correo electrónico,* sistema habitual en las redes y que gestiona el intercambio de mensajes entre los usuarios.

De ahí el lema que atribuimos a la década de los noventa: cada ordenador tiene acceso a toda la potencia disponible en la red, con independencia de su propia capacidad.

Pantallas

Actualmente todas las pantallas de ordenador capaces de representar gráficos pertenecen a la misma tecnología *raster* (o de 'mapa de puntos'), con independencia de que estén construidas mediante

un tubo de rayos catódicos (CRT, como los televisores) o mediante sistemas de cristal líquido o sus variedades (las habituales en los ordenadores portátiles).

En realidad, todas las pantallas gráficas dibujan a base de iluminar con distintos colores una trama minúscula de puntos. El número de puntos de una pantalla (en inglés *pixels,* contracción de *picture elements)* determina su resolución: cuantos más puntos mejor resolución. Naturalmente, se consiguen más puntos si se hacen puntos más pequeños y monitores más grandes. La resolución es una medida de la nitidez (figura 13).

La mínima resolución comercial con la que se puede empezar a dibujar es de 640 puntos horizontales por 480 puntos verticales, que suele utilizarse con monitores de 12 o 14 pulgadas. Es sorprendente que incluso esta resolución sea superior a la que proporcionan las emisiones de televisión y del orden del doble de los sistemas de vídeo doméstico. Acostumbrados a las imágenes televisivas, parece ilógico que se necesite mucha más resolución incluso para los usos más sencillos del dibujo.

Basta con darse cuenta del tamaño que necesitan para ser legibles los caracteres del teletexto para comprobar la poca calidad de las famosas 625 líneas. El movimiento y el mecanismo de la percepción son, sin embargo, los que más colaboran en esta ilusión. Gracias al movimiento —que añade la información necesaria—, el cerebro humano rellena, interpreta e interpola lo que en la imagen no existe. Ésta es la razón de que las imágenes de televisión captadas en fotografía sean siempre tan deficientes: la fotografía congela la imagen, desaparece el movimiento y el cerebro no puede arreglar las deficiencias de la baja resolución (figura 16).

De hecho, el uso profesional del dibujo requiere resoluciones bastante mayores que la mencionada al principio. Es normal que un sistema disponga de 1024 puntos en horizontal por 768 en vertical y cada vez existen más sistemas con 1280 por 1024 (véase, de paso, la inevitable tendencia de los ordenadores a utilizar cifras extrañas, generalmente potencias de dos). No obstante, veremos más adelante que la resolución no es la única forma de valorar una pantalla y, a veces, es más bien un inconveniente.

La segunda medida de una pantalla viene dada, naturalmente, por el color. El color consume gran parte de la potencia del ordenador, ya que el sistema debe almacenar información diferenciada para cada punto aislado de la pantalla, y ya hemos visto que puede haber fácilmente entre medio millón y más de un millón de estos puntos. Hay dos sistemas diferentes para almacenar la información sobre el color de cada punto.

El primer método —más intuitivo, pero más costoso en memoria y menos difundido— consiste en guardar para cada punto de la

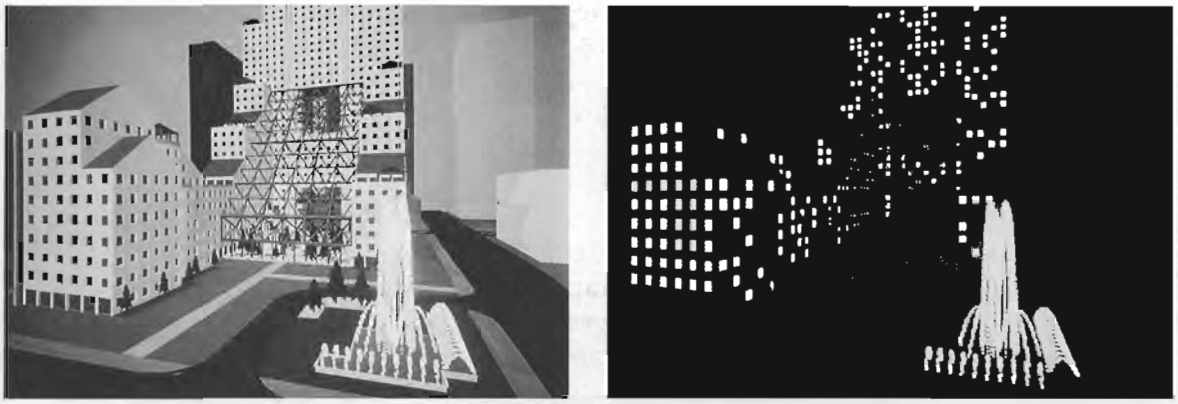
13. Una misma imagen, visualizada con diferentes resoluciones de pantalla: 640 x 480 puntos *(arriba)* y 800 x 600 puntos *(abajo)*. Las mayores diferencias se aprecian en el escalonamiento de las líneas oblicuas.

pantalla la información completa del color que tiene asignado. Por ejemplo, el sistema conocido como Targa 16 permite elegir 32 matices distintos de cada color primario (rojo, verde y azul), lo que da algo más de 32.000 colores *distintos* posibles para cada punto. Este sistema, que a veces se denomina *true color* ('color verdadero') permite que cada punto de la pantalla tenga un color cualquiera, a elegir entre los 32.000 posibles, con independencia del color de los restantes puntos, lo que lo hace indicado para el tratamiento por ordenador de fotografías o vídeo. En contrapartida, es poco eficiente para almacenar imágenes que tengan grandes zonas de colores lisos y no muy variados, como un plano de arquitectura.

El segundo método es más habitual en los ordenadores para dibujo. Se trata, en este caso, de definir para cada imagen una paleta reducida de colores —es habitual el valor de 256—, que se llama 'mapa de color' (lámina I). Cada punto de la imagen debe almacenar ahora sólo un índice o referencia a este mapa, en lugar del color completo. Una imagen así ocupa menos que en el caso anterior, ya que hay 256 posibilidades por punto frente a 32.000 (lo que en informática significa la mitad de tamaño). El mapa de color no está limitado a este número tan reducido de colores para todas las imágenes: lo que está limitado es el número de colores diferentes de cada imagen. Pero estos colores se pueden elegir, incluso en sistemas sencillos, en una gama que puede tener entre doscientos mil y varios millones de matices. A veces se utiliza el concepto de 'planos de color' al referirse a una placa o sistema gráfico; el número de colores diferentes simultáneos que ofrece el sistema se obtiene elevando 2 al número de planos de color, por lo que un sistema en blanco y negro tiene un plano de color y un sistema con ocho planos de color alcanza los 256 colores simultáneos.

Además, el sistema del mapa de color permite un tratamiento del color muy interesante para el arquitecto: la definición de gamas y la sustitución global de unos colores por otros. El mapa de color de una imagen puede ser modificado rápidamente y pueden guardarse diferentes mapas de color para una imagen determinada.

Una experiencia divertida —si se dispone de un programa de dibujo de los que permiten automatizar la carga y presentación de imágenes— es la de simular fenómenos atmosféricos, como una tormenta. Se parte de la imagen de un cielo oscuro, sobre el que se dibuja una línea clara en zigzag que simula un rayo. Se guarda el mapa de color y a continuación se crea otro mapa en el que el rayo tiene el mismo color del cielo; naturalmente el rayo ahora no se ve. Se prepara una presentación cambiando sólo el mapa de color, que irá alternando de uno a otro. Como esta operación es muy sencilla para el ordenador, tras algunas pruebas para ajustar los tiempos de cada mapa se conseguirá un efecto sorprendente.



14. Basta con cambiar de mapa de color para obtener dos visiones distintas de la misma imagen, por ejemplo, de día y de noche.

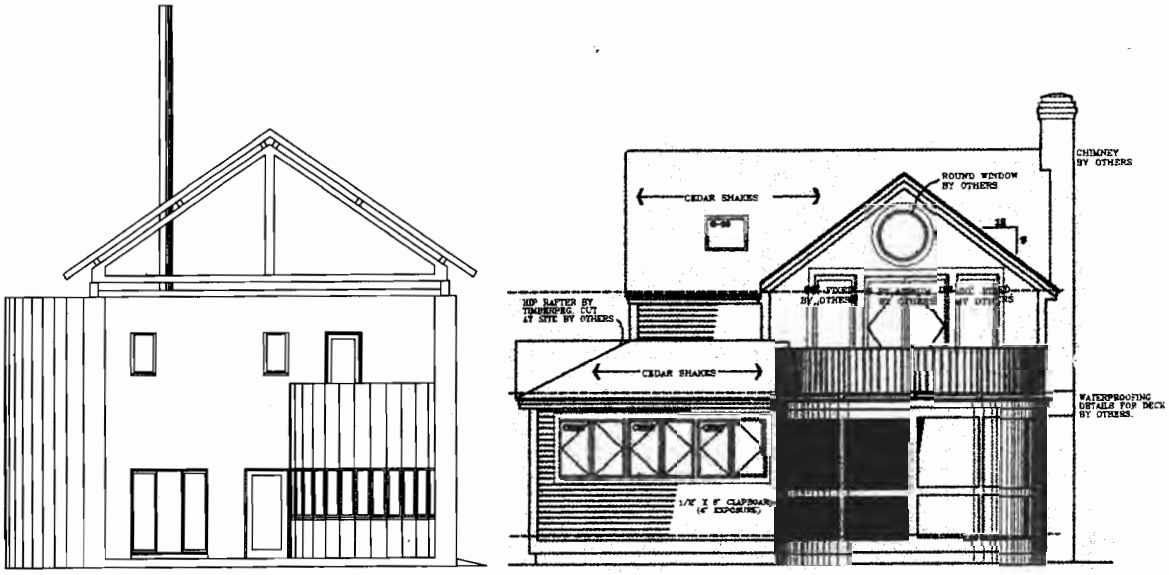
En esta misma línea, también resulta fácil conseguir efectos especiales para simular las diversas iluminaciones a lo largo del día y la noche, así como pruebas de colores y materiales (figura 14).

El arquitecto tiene dos tipos de necesidades gráficas distintas: el dibujo de planos y la obtención de perspectivas en color o presentaciones. La primera tarea requiere pantallas grandes, de alta resolución, aunque no tengan gran capacidad de tratamiento de color. La obtención de imágenes, por el contrario, exige una mayor capacidad de manejo de colores, pero no se beneficia necesariamente de una mayor resolución: el soporte al que se vayan a transferir estas imágenes puede admitir una resolución mucho menor que la propia pantalla, como veremos más adelante, especialmente si se trata de una impresora de color o de un vídeo. Además, el tiempo de cálculo de una perspectiva en colores es proporcional al número de puntos de pantalla que hay que rellenar. Una placa gráfica más pequeña puede ser una solución más adecuada para este tipo de tarea.

Trazadores

Decir que la mayor parte del trabajo del arquitecto consiste en el dibujo de planos puede parecer innecesario. Sin embargo, la capacidad de seducción de las imágenes generadas con o por los ordenadores es tan alta que en las demostraciones comerciales y en las propias decisiones de compra de los arquitectos los planos ocupan frecuentemente un lugar secundario.

Se entiende por 'plano' una información gráfica formada exclusivamente por líneas, en contraposición a una 'imagen', en la que existen superficies de colores, lisos o con cualquier tipo de variación. Los planos, ya sean dibujados con los ordenadores o generados por ellos, deben obtenerse —hoy por hoy— en un soporte físico barato, fácil de ver, transportar y reproducir: el papel. Las técnicas



15. En los trazadores conviven las técnicas vectoriales de los de plumas *(izquierda)* con las de rastreo de puntos de los matriciales *(derecha)*. Éstos aún presentan escalonadas las líneas oblicuas.

por las que los ordenadores traspasan al papel los planos se reducen a dos: técnicas *vectoriales* y técnicas de *rastreo de puntos* (figura 15).

Al contrario que en el diseño de pantallas, donde ha sido abandonada para usos convencionales, la tecnología *vectorial* sigue siendo el sistema más económico y utilizado en el trazado de planos. Todos los trazadores de plumas pertenecen a esta categoría. El sistema que utilizan es muy sencillo y, generalmente, consiste en lo siguiente: el papel se mueve en una dirección, atrapado mediante unos rodillos, mientras una pluma —cerámica, de fibra de vidrio, de tipo *rapidograph* o incluso de grafito— se desplaza en la dirección perpendicular. Posiblemente todos los arquitectos usuarios de informática estarán de acuerdo en que el trazador es uno de los elementos más primitivos de su instalación. Las tintas se acaban en mitad del dibujo o se secan, los papeles se arrugan y el dibujo *desatendido* o encadenado de un plano tras otro se convierte en un mito.

Además, el trazador convencional de plumas es lento. Precisamente la velocidad es una característica a tener en cuenta en estos aparatos, puesto que suele ser muy aireada y, simultáneamente, muy mal entendida. En efecto, la velocidad sería un indicador absoluto de la calidad del trazador si la pluma pudiera mantenerla de un modo constante desde el principio de cada segmento; puesto que la pluma parte con velocidad nula al iniciar cada segmento, una buena aceleración es fundamental si se quiere evitar que la pluma desarrolle su velocidad de catálogo en una reducida parte de las líneas del plano.

Las velocidades altas sólo se justifican si existen muchos *trayectos*

largos. Dado que hay que contabilizar todos los segmentos de cada plano de arquitectura —como los tramos cortísimos que forman parte de la rotulación o las cotas—, es fácil ver que la velocidad por sí sola no resulta un dato muy concluyente: la mayor parte de las líneas de un plano se trazan a una velocidad muy inferior a la que figura en las especificaciones del aparato. Para más desgracia, como ya saben los arquitectos informatizados, las plumas de calidad no soportan velocidades altas, y viceversa.

En resumen, un plano DIN A1 normal, dibujado con pluma de calidad sobre papel vegetal, puede necesitar entre diez minutos y una hora en un trazador de potencia mediana. Este tiempo, que a un profano podría parecerle poco, es varios cientos de veces el necesario para redibujarlo en pantalla, y eso, dentro de la informática, es un tiempo asombroso.

Estas razones justifican que el sueño de muchos arquitectos sea un trazador electrostático. Éste es uno de los varios sistemas de *rastreo de puntos* que pueden algún día ser la alternativa a los trazadores de plumas. Entre los restantes están los trazadores térmicos, las impresoras láser y, últimamente, los trazadores de chorro de tinta. Todos utilizan el mismo sistema: el dibujo se convierte a una matriz de puntos y ésta se transfiere al papel mediante diferentes mecanismos físicos o químicos. La velocidad de trazado es alta (alrededor de dos centímetros de plano por segundo) y prácticamente independiente del volumen de líneas contenidas en el plano.

La medida de la calidad de estos trazadores viene dada por su resolución, o número de puntos por unidad de distancia. Nuevamente la arquitectura se muestra especialmente exigente; mientras que un plano de ingeniería o de tipo industrial es satisfactorio con una densidad de 300 o incluso 200 puntos por pulgada (alrededor de 100 puntos por centímetro o bien una línea cada 0,10 mm), ningún arquitecto aceptaría como definitivo un plano por debajo de 400 puntos por pulgada.

Esta precisión no es un capricho. La resolución de 300 líneas por pulgada (la de las impresoras láser convencionales) es suficiente para muchos tipos de trabajos. Sin embargo, los trazos curvos o los segmentos inclinados de los planos de arquitectura presentan *escaleritas,* que en los segmentos se hacen más visibles cuanto más cerca están de la horizontalidad o verticalidad exactas.

Por otra parte, la distancia entre puntos dada por la resolución se acerca demasiado al grosor de las líneas típicas de un dibujo de arquitectura (generalmente más finas que en otras profesiones), lo que obliga a usar líneas gruesas y muy diferenciadas. Las tramas también tienen que tener el paso grande para evitar efectos de *moiré.*

Cada sistema de trazadores tiene sus inconvenientes: los electros-

táticos admiten color, pero son voluminosos y caros; los térmicos son más económicos, pero necesitan papel especial; las impresoras láser están muy difundidas y alcanzan gran calidad, pero no tienen el tamaño que los arquitectos necesitan.

No sabemos actualmente cuál será el sistema que arraigue en el futuro. Pero la opinión general es que los trazadores de puntos desplazarán a los de plumas (y debe de ser cierta, porque hace más de veinte años que se mantiene unánimemente).

Impresoras de color

Las imágenes conseguidas con los programas de arquitectura —que, según la terminología que hemos visto, se caracterizan por la existencia de masas de color— deben ser transferidas a soportes estables mediante un sistema distinto al trazador convencional. En realidad, los trazadores electrostáticos de color podrían reproducir imágenes, pero su tamaño y sus criterios de diseño les alejan de esta tarea.

Los sistemas dedicados a la reproducción de las imágenes que aparecen en el monitor —o, como suele decirse, al *volcado* de pantallas— transfieren estas imágenes a dos tipos de soporte: papel y diapositiva. Las copias en papel se denominan a veces con el término inglés *hardcopy*. Los sistemas de volcado más difundidos toman la información directamente del monitor en el que está representada la imagen, a través de unos cables. Esto los convierte en *transparentes* al programa de dibujo: es decir, no es necesario que el programa efectúe ninguna tarea especial ni que esté especialmente adaptado para que se realice el volcado. A cambio, dependen de la resolución (número de puntos) de la pantalla utilizada; independientemente de la calidad de la impresora utilizada, la resolución será como mucho la de la placa gráfica.

Así funcionan, por ejemplo, las impresoras de color en papel. Estas impresoras suelen utilizar tres bandas de papel semejante al celofán, de colores amarillo, rojo y azul, que se transfieren por calor a un papel especial. Tienen una resolución similar a la de la pantalla y una gama de color muy restringida. Y lo que es peor, obtienen los colores de manera *sustractiva,* mientras que en la pantalla se generan de forma *aditiva* (véase el epígrafe 'Variables infográficas' del capítulo 4). Esto produce una disparidad en los sistemas de color de ambos medios que puede ser importante cuando se desean matices exactos. La calidad que se obtiene puede servir como *borrador,* pero difícilmente se admitiría para el uso profesional de un arquitecto.

Otro sistema *transparente* es el paso a diapositiva, mediante una cámara electrónica que lee las señales del monitor y las transfiere directamente a un positivo fotográfico. La calidad que se consigue así es muy alta. Sin embargo, cuando la diapositiva es el soporte que se necesita, es mucho más fácil realizarla mediante métodos conven-

cionales. El coste de una cámara profesional y un trípode es muy inferior al de cualquier sistema integrado de volcado, y el resultado, aunque de menor calidad, resulta perfectamente adecuado para los usos más frecuentes.

Generalmente, las imágenes de impresora acusan mucho los efectos de *escalonado* de las líneas inclinadas, llamadas en inglés *jaggies*. Hay costosas técnicas para suavizar estos bordes, a base de interpolar y modificar los colores de los puntos contiguos: el llamado *antialiasing*. Pues bien, la diapositiva, siendo una técnica analógica (continua) y no digital (discreta o finita), produce un *antialiasing* natural. Las imágenes de ordenador pasadas a diapositiva son más agradables y menos duras. Actualmente, además, se pueden transferir diapositivas a papel con poco coste, consiguiéndose así resultados similares a los de las impresoras de papel con una inversión mucho menor.

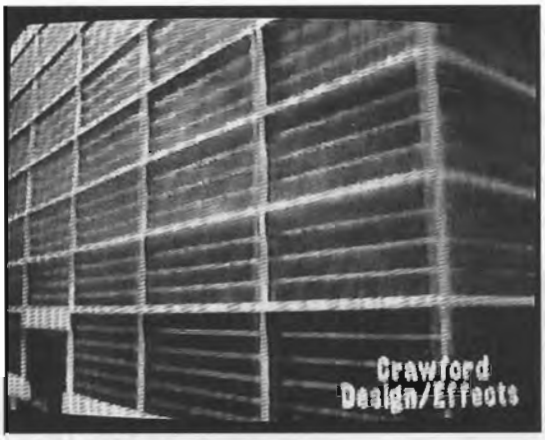
Por último, existen sistemas de volcado no transparentes, en los que el programa controla una impresora mediante órdenes directas en un lenguaje adecuado, por ejemplo, PostScript. Éste es probablemente el sistema que más se desarrollará y difundirá en el futuro, ya que permite el mayor control del resultado y deja libertad a la evolución de las pantallas y de los propios periféricos gráficos. De hecho, un programa puede dibujar directamente en la impresora, generándose imágenes que serían imposibles en la pantalla del ordenador por su resolución, tamaño o número de colores. Puede trabajarse así con resoluciones de 2000 x 2000 o 4000 x 4000 puntos, que son las usadas en artes gráficas y se consideran completamente profesionales (lámina IV).

De la misma forma, algunos programas pueden generar las imágenes en disco, en un formato de intercambio adecuado. Estos ficheros pueden enviarse a otro ordenador más potente o a un centro de reproducción que las transfiere al soporte adecuado.

Vídeo

Como es sabido, el cine no consiste más que en la filmación y proyección de imágenes a razón de veinticuatro fotogramas por segundo. Dado un modelo de arquitectura, puede solicitarse a un ordenador que genere imágenes desde puntos de vista próximos a lo largo de un cierto recorrido. La obtención de estas imágenes, en general, es demasiado lenta para que se produzca sensación de movimiento. Sin embargo, las imágenes pueden filmarse sucesivamente en una película convencional o en una cinta de vídeo para obtener un efecto de movimiento al proyectarlas de forma continua. Esta técnica se llama 'animación por ordenador' (véase el epígrafe homónimo en el capítulo 4).

La filmación directa en película, fotograma a fotograma, no pre-



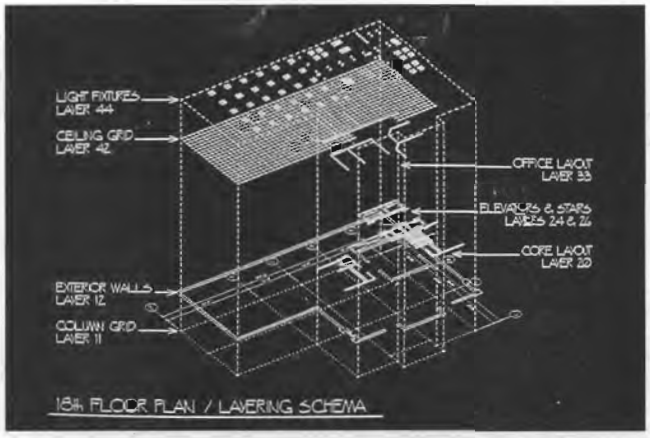
16. Las imágenes fijas de vídeo suelen tener una definición mucho menor que las de los ordenadores. El movimiento contribuye a fundir los fotogramas y dar así una impresión más real.

senta problemas especiales, salvo el de garantizar la iluminación continua y la ausencia de desplazamientos de la cámara durante los tiempos intermedios de cálculo; a pesar de ello, no se utiliza prácticamente nunca.

El paso de la imagen de ordenador a vídeo, sin embargo, es más complicado, porque la tecnología del ordenador y la del magnetoscopio se parecen a primera vista, pero tienen fundamentos profundamente distintos. Esto impide filmar las imágenes con una cámara de vídeo: no tienen precisión suficiente para el trabajo cuadro a cuadro (figura 16). Es necesario disponer de una placa de conexión que convierta la señal digital del ordenador en la señal analógica —PAL (Europa) o NTSC (Estados Unidos)— que requiere un reproductor de vídeo. Es necesario también un reproductor de vídeo capaz de controlar la grabación, el avance y la reproducción cuadro a cuadro.

Basta con unos cuantos cálculos para comprobar la envergadura de esta tarea. Si nuestro ordenador requiere diez minutos para generar una imagen de la calidad deseada, hacen falta más de cuatro horas para obtener un segundo de animación y diez días para conseguir un minuto.

Sin embargo, existen varias formas de acelerar este trabajo. Una de ellas es adecuar la calidad de la imagen calculada a la del soporte final. El vídeo tiene una resolución muy inferior a la de los ordenadores; carece de sentido, por tanto, utilizar placas gráficas de alta resolución o pantallas muy grandes. Además, el movimiento induce una sensación de realismo subjetivo que compensa el uso de imágenes más sencillas que las necesarias para una fotografía. Los modelos con mucho nivel de detalle se *empastan* y las líneas próximas a la horizontal o a la vertical producen una vibración característica que se denomina 'parpadeo' o *flickering*.



17. Esquema de superposición de capas en un programa de dibujo. Sobre la retícula de pilares se van añadiendo los muros, el núcleo central, los ascensores y las escaleras, la distribución interna, el techo y las luminarias.

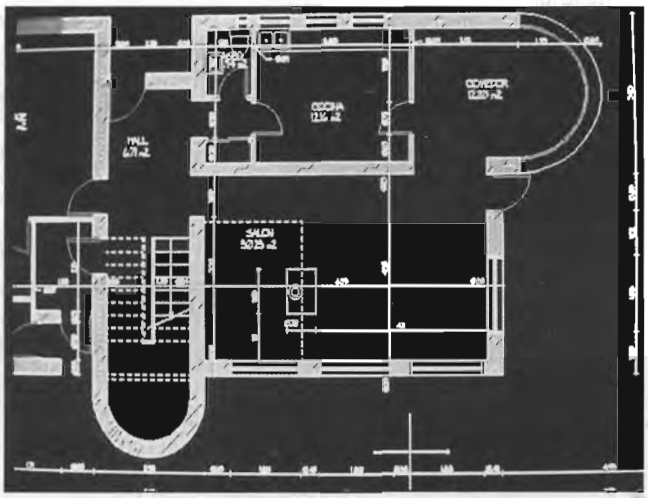
Los modelos de ordenador para animación deben estudiarse cuidadosamente, simplificándolos lo más posible y eligiendo tipos de representación fáciles de calcular.

Programas

La elección del programa de CAD suele ser el punto crucial de la informatización de un estudio de arquitectura. La situación actual —como ya se ha explicado— permite escoger primero el *software* y después decidir qué marcas de *hardware* nos interesan más entre las diversas opciones que nos ofrezca el programa. Esto es todo un adelanto, pues el programa en sí mismo implica un método de trabajo que determinará la futura forma de diseñar del arquitecto. Con todos los programas no se puede empezar un proyecto de la misma manera, por lo que antes de decidirse por uno u otro conviene tener una idea clara de qué tipos diferentes tenemos a nuestra disposición en el mercado.

Para empezar, existen notables diferencias entre los programas llamados 'genéricos' y los 'específicos' para arquitectura. Los primeros provienen del diseño industrial y la ingeniería, y sólo son útiles mediante el uso de módulos especiales de aplicación a la edificación. Aunque todavía quedan algunos que insisten en su adecuación al diseño arquitectónico, la actual profusión de programas específicos los hace descartables desde el principio. Al fin y al cabo, un edificio no es un automóvil.

En función de sus posibilidades gráficas y de su aportación a los diversos momentos del diseño de un proyecto, los programas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: de dibujo, de diseño, de presentación y auxiliares.



18. Imagen de un plano dibujado con un programa 2D+3D (en este caso, Arris). Cada uno de los elementos (muros, puertas, ventanas, etcétera) se visualizan con líneas de colores distintos.

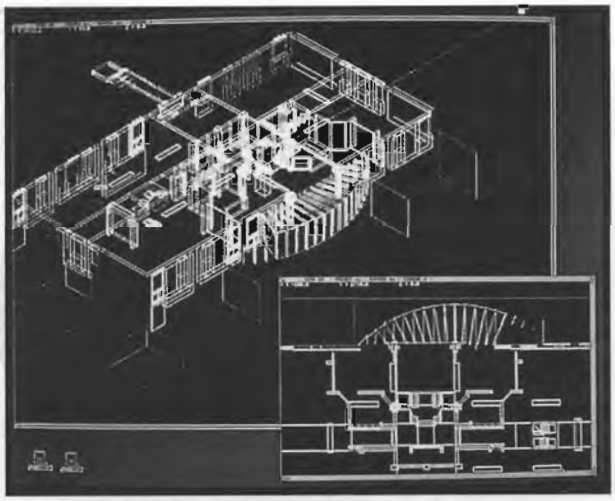
De dibujo

Este tipo de programas suelen ser usados por delineantes, y la unidad de trabajo es el plano, de ahí que se conozcan por las siglas 2D (dos dimensiones). Por tanto, se trabaja de forma separada en las plantas y en los alzados, no existiendo un modelo unitario del proyecto. Si se modifica un detalle en la planta, se ha de realizar el cambio por separado en los alzados y en las secciones. Suele usarse un sistema de *capas*, en cada una de las cuales se sitúa un tipo bien determinado de información (muros, electricidad, rotulación, etcétera); sus distintas combinaciones dan lugar a los diferentes planos del proyecto (figura 17).

Algunos de estos programas suelen tener capacidad tridimensional, es decir, pueden generar modelos en el espacio, pero éstos se construyen después de las plantas y los alzados, en un proceso posterior, añadido y voluntario (cuando cuentan con esta posibilidad, se suelen conocer por las siglas 2D+3D).

Este enfoque representa una actitud muy práctica; no es sorprendente que sea la filosofía de los programas de dibujo originados en los Estados Unidos. Su mejor exponente es AutoCad, aunque en nuestro país está igualmente difundido entre los arquitectos otro programa de este tipo, Arris (figura 18).

AutoCad es el programa de dibujo más difundido del mundo. Es fácil de usar, potente y programable, aunque otros programas mejoran estas características tomadas de una en una. Pero su éxito se debe a su carácter abierto, a su temprana implantación en el mercado, a la calidad de manuales y traducciones, y a su continua evolución a lo largo de las líneas exigidas por los usuarios (de los cuales un 20% son arquitectos). No está especialmente orientado a la arquitectura, por lo que requiere cierto trabajo previo de definición



19. En los programas 3D+2D (como CadStar, en la imagen) se trabaja desde el principio con elementos tridimensionales, de los cuales se generan planos a la manera tradicional.

de bibliotecas (colecciones de símbolos gráficos convencionales) y rutinas específicas (labores concretas que se realizan con mucha frecuencia). Hay empresas (las llamadas 'terceras partes') que desarrollan estos trabajos y los venden como añadidos, o bien adaptan el programa y lo cambian de nombre (los que se llaman programas '*basados* en AutoCad'). Su enorme difusión ayuda a la disponibilidad de operadores y, de hecho, se estudia en academias y escuelas profesionales.

Muchos arquitectos se han introducido en el mundo del diseño asistido por ordenador a través de AutoCad y, en la medida en que gran parte de su trabajo consiste en la producción de planos, este tipo de programas seguirán siendo muy utilizados en el futuro.

De diseño

Frente a la bidimensionalidad de los programas de dibujo, los de diseño se caracterizan por trabajar desde el principio en tres dimensiones, de ahí las siglas 3D. Algunos de ellos son de aplicación exclusiva a la fase inicial del proyecto, ya que se limitan a hacer *bocetos* tridimensionales de los primeros tanteos. Estos programas entienden el volumen como un cuerpo hueco delimitado por sus superficies exteriores, por lo que no pueden usarse para generar los planos. Son el equivalente informático de las servilletas de papel en donde el arquitecto suele hacer los primeros *monos* que le vienen a la mente, y se conocen habitualmente como '3D puros' o 'modeladores'.

Pero el tipo de programa más completo para arquitectura es una especie de ampliación de estos *modeladores* para que puedan incluir los objetos arquitectónicos en toda su complejidad. No sólo trabajan en tres dimensiones, sino que también producen planos a la manera

tradicional, por lo que podríamos identificarlos con las siglas 3D+2D. Esta actitud requiere una reflexión más profunda sobre las raíces fundamentales de la arquitectura, y su origen es más bien universitario y europeo, expresándose con gran claridad en el programa belga CadStar, hoy rebautizado como StarArchi (figura 19).

Este programa y los que han seguido su ejemplo plantean una forma de representar el espacio en el ordenador que es absolutamente específica para la arquitectura. No hay coordenadas ni tolerancias, la unidad de medida es siempre el metro, y la precisión el centímetro. En una primera fase, el arquitecto construye su modelo usando elementos volumétricos puros, de material indiferenciado. Posteriormente se especifican constructivamente estos elementos mediante la asociación de componentes y grupos, que son símbolos tridimensionales inteligentes y adaptables. Debido a esto, se generan planos que, aun siendo automáticos, disponen de grafismos detallados y totalmente personales; se consiguen representaciones *hiperrealistas* en tiempo real; y se puede manejar información de costes, calidades y especificaciones dentro de un modelo único con datos fuertemente integrados.

Las posibilidades de visualización de este tipo de programas suelen ser limitadas en comparación con los programas profesionales de tratamiento de la imagen, aunque algunos disponen de módulos especiales de obtención de imágenes *(rendering)* e incluso de animación. De todos modos, sus modelos siempre se pueden trasladar a un programa *de presentación* para sacarles todo su partido gráfico. Además, ese mismo modelo geométrico se puede usar para hacer mediciones, presupuestos, estructuras, etcétera, mediante una serie de programas *auxiliares.*

De presentación

Bajo esta denominación se engloban toda una serie de programas cuyo objetivo es conseguir que la imagen infográfica alcance la mayor calidad posible en su aspecto visual. Esta labor consiste en el 'tratamiento' de las imágenes mediante diversos procesos informáticos —lo que en inglés se denomina *rendering*— y en su encadenamiento secuencial para producir recorridos visuales, lo que se conoce como 'animación'.

Estas posibilidades gráficas y dinámicas pueden formar parte de *paquetes* integrados de CAD, constituyendo módulos complementarios que el arquitecto puede ir añadiendo al programa básico (normalmente 3D). Pero también existen como programas individuales en los que se puede empezar a modelar el proyecto desde el principio. De todos modos, lo más habitual es construir el modelo en un programa específico de diseño y luego trasladarlo a otro programa especialmente orientado a la presentación final.

Las mejoras en la calidad de la imagen infográfica consisten en el retoque de las variables gráficas, especialmente las texturas, las sombras y el color. Para todo ello se utilizan procesos informáticos muy complejos como el *ray tracing* o 'seguimiento de rayos' y la *radiosity* o 'radiosidad' (véase el epígrafe 'Variables infográficas' del capítulo 4). Con estos métodos se puede lograr tal grado de verosimilitud que muchas veces es difícil distinguir entre una de estas imágenes y una fotografía (lámina VII).

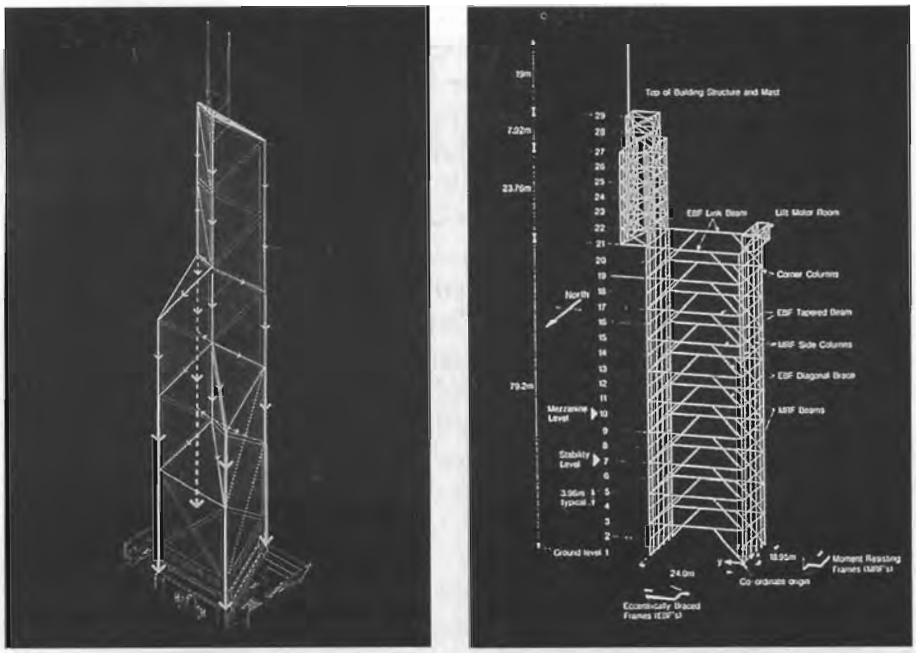
La visualización de los resultados de estos programas depende de la potencia y calidad del equipo informático —como ya se ha mencionado más arriba—, pero en general se pueden usar los mismos ordenadores, pantallas e impresoras que hacen falta para los programas 3D. Además, las imágenes de la pantalla se pueden filmar directamente sobre diapositivas para hacer presentaciones a los clientes.

La segunda aportación de este tipo de programas es la animación (véase el epígrafe homónimo en el capítulo 4). Aparentemente, el problema es sencillo de resolver. Basta simplemente con encadenar una serie de imágenes desde distintos puntos de vista para formar un recorrido. Si se ve la secuencia a la velocidad adecuada, lo que tendremos es una especie de película a través del proyecto o a su alrededor. Sin embargo, ya hemos aclarado que el volumen de cálculo necesario para obtener una sola imagen hace que producir una breve secuencia implique una enorme cantidad de trabajo del procesador. De todos modos, hay programas que están orientados específicamente a este tipo de labor. Una vez calculadas todas las imágenes, pueden transformarse en señal de vídeo y grabarse en una cinta convencional, de forma que se pueden visionar en cualquier aparato de televisión. Y si a esta secuencia dinámica se le añaden otros recursos *cinematográficos* como la voz, el montaje o los rótulos, lo que tendremos será todo un sistema *multimedia* (véase el epígrafe homónimo en el capítulo 4).

Auxiliares

El trabajo del arquitecto no consiste únicamente en producir bellas imágenes, sino en preparar todos los documentos necesarios para que un diseño se haga realidad. Por ello, junto a todos estos programas fundamentalmente gráficos existen otros cuya misión consiste en facilitar la labor de hacer construible un proyecto. Con ellos se saca el máximo provecho de la capacidad de cálculo repetitivo que tienen los procesadores. Además, el hecho de que el proyecto esté íntegramente definido como un modelo geométrico almacenado en la memoria hace que los cálculos sean de una gran fidelidad con respecto al objeto diseñado.

Por ejemplo, las mediciones —un trabajo agotador generalmen-



20. Esquema de cargas del Banco de China en Hong Kong, de Ieoh Ming Pei *(izquierda)*; y análisis estructural de la Century Tower en Tokio, de Foster Associates, realizado por Ove Arup & Partners *(derecha)*.

te confiado a otros profesionales— han pasado a ser una simple cuestión de horas, ya que el modelo no sólo está definido por sus características geométricas, sino que se han especificado además materiales y componentes. De este modo, basta con dar la orden oportuna para que el ordenador descomponga cada una de las partes en sus elementos constitutivos y calcule la cantidad de unidades de obra incluidas en el proyecto. Éstas, a su vez, están relacionadas con las especificaciones de la memoria, de manera que en su texto sólo se incluirán las que sean relevantes.

Con los presupuestos pasa algo parecido. Los programas que los calculan parten de las mediciones obtenidas del modelo informático y les aplican unos precios contenidos en unas bases de datos que pueden ser actualizadas periódicamente, tanto por las autoridades encargadas de su gestión como por el propio arquitecto, quien puede *diseñar* —si lo desea— sus propias partidas y precios descompuestos.

Los programas de estructuras *ayudan* a diseñar el entramado resistente, tanto de hormigón como de acero, calculando rápidamente la solución adoptada o comprobando diferentes tanteos y variaciones. La mayor parte de ellos trabaja a la manera tradicional, es decir, descomponiendo el entramado en pórticos planos, pero ya han aparecido algunos que contemplan la posibilidad de manejar la estructura como una unidad tridimensional. Posteriormente se obtienen los planos, los detalles y las tablas de pilares, vigas, etcétera.

Se crea así otro modelo del que se pueden obtener por separado sus propias mediciones y su presupuesto. Seguramente su mayor ventaja, además de hacer en unas horas lo que antes llevaba semanas, es que se *saben* la laberíntica normativa que rige tanto los cálculos como la construcción de las estructuras resistentes (figura 20).

El capítulo de las instalaciones también cuenta con múltiples programas a disposición del arquitecto, si bien estos temas están cada vez más en manos de especialistas o consultores. Algunos de estos programas se limitan al cálculo de diámetros o secciones, sin mayor relación con el modelo infográfico del edificio. En otros casos, su labor consiste más bien en insertar en el modelo tridimensional creado por el arquitecto toda la serie de *canales* por los que discurren la fontanería, la electricidad, el aire acondicionado, etcétera. Su concepción tridimensional e integrada con el proyecto arquitectónico permite así detectar conflictos en las etapas iniciales de diseño, de modo que se puedan resolver con antelación.

Criterios de elección

Naturalmente, no es nuestra tarea establecer recomendaciones o limitaciones sobre determinados sistemas operativos, familias de ordenadores, ni mucho menos sobre programas concretos. Uno de los criterios más convenientes, de hecho, es acercarse a los diferentes sistemas comerciales sin excesivos prejuicios. Los ordenadores y los equipos cambian, y las conclusiones de un análisis pueden ser diferentes meses o años después.

Por tanto, lo que aquí enumeramos tratan de ser criterios generales, relativamente estables, pero que habrá que ir modificando adecuadamente con el paso del tiempo. Por otra parte, la mejor forma de conocer un programa antes de utilizarlo es observar su funcionamiento en un estudio en el que se desarrollen proyectos similares a los que van a manejarse en la realidad.

1. *Estándares.* Los programas deben imponer las menores condiciones posibles sobre el entorno de utilización. Unos programas lo consiguen funcionando en un sistema —o *familia* de ordenadores— único, pero muy difundido. Otros están implantados sobre diferentes *arquitecturas* informáticas, y el usuario puede elegir la que más le convenga. Pero no parece recomendable vincularse a equipos o sistemas obligatorios (a veces llamados 'propietarios'), no tanto porque esto indique una mala decisión desde el punto de vista técnico, sino porque en el futuro impondrá limitaciones a la evolución del programa, del equipo adquirido o de ambas cosas.

2. *Sistemas abiertos.* Ninguna empresa que desarrolle programas puede abarcar la totalidad de las tecnologías específicas que intervienen en un proyecto de arquitectura. Los programas de los arquitectos, por tanto, deben formar parte de sistemas *abiertos.* Éstos se

reconocen por estar dotados de varias propiedades relacionadas entre sí: 1, pueden exportar e importar la información que contienen o que generan (dibujos, imágenes, etcétera) hacia y desde otros programas, y en los formatos más difundidos; 2, disponen de lenguajes de programación, creación de macros o sistemas de interrogación de bases de datos que permiten manipular la información de forma independiente de la especificada por el programa; y 3, compañías ajenas al fabricante, normalmente denominadas 'terceras partes', pueden diseñar módulos complementarios, bibliotecas, comandos o plantillas que realicen tareas no previstas por el programa original.

3. *Capacidad suficiente.* Algunos programas funcionan bien sólo dentro de unos límites de tamaño. El arquitecto debe ser consciente de este límite, porque no se le presentará durante la etapa de implantación y formación, sino cuando el programa esté funcionando a pleno rendimiento. Las limitaciones del programa no tienen por qué ser explícitas. Un programa puede admitir un número ilimitado de elementos —de hecho, casi todos lo hacen—, pero su funcionamiento puede dejar de ser operativo cuando se alcanza un determinado tamaño.

4. *Conectividad.* Los arquitectos que buscan por primera vez un programa de ordenador para su estudio se preocupan de su potencia, velocidad y calidad de trabajo. Sin embargo, los que tienen mayor experiencia suelen preocuparse más de las posibilidades de conexión entre puestos de trabajo, de la calidad de la base de datos y de la posibilidad de transferencias de información con otros estudios automatizados. Si el punto anterior se refería a la capacidad del programa tomado de forma aislada, éste hace referencia a la posibilidad de que el sistema informático crezca hasta alcanzar la dimensión correspondiente al estudio. Cada vez se valora más que los equipos informáticos puedan ser utilizados de un modo colectivo, puesto que un proyecto raramente es desarrollado por una sola persona.

5. *Facilidad de uso.* Sólo tras haber pasado algún tiempo trabajando en condiciones reales con un sistema es cuando se comprueba su verdadera facilidad de uso. La insistencia de muchos programas en su sencillez de aprendizaje puede encubrir limitaciones de funcionamiento. Un programa debe ser fácil de usar, pero lo que parece 'amigable' *(user friendly)* el primer día puede ser un estorbo más adelante. Algunos criterios que pueden indicar la facilidad de uso de un sistema son: 1, la selección por menús, no por comandos; 2, los menús —activados con ratón— en pantalla, no en tablero (esta última solución ya está anticuada, salvo para la digitalización de planos); y 3, el funcionamiento en entornos de ventanas, preferentemente estándares o muy difundidos.

6. *Especialización.* Algunos programas han sido diseñados pensando exclusivamente en la arquitectura. Otros son programas genéricos, que disponen de módulos especializados con los automatismos, las plantillas y otras funciones necesarias para el trabajo de arquitectura. Cualquiera de los dos enfoques puede ser adecuado. Por el contrario, difícilmente puede un arquitecto sacar partido de programas de dibujo o modelado de tipo industrial, por potentes que sean muchas de sus opciones.

7. *Integridad.* El arquitecto no puede entretenerse en la creación de plantillas, bibliotecas de símbolos, tipos de letra, tramas, texturas de materiales, macros o programas. El hecho de que un programa sea abierto no significa que el usuario haya de completarlo, sino sólo que sus componentes pueden ser modificados. El sistema tiene que estar íntegramente terminado y dispuesto para trabajar.

8. *Proyecto y referencia.* Esta posibilidad no se incluye en muchos de los sistemas actuales, pero cabe pensar que se irá imponiendo en el futuro. Consiste en la capacidad de copiar cualquier información (por ejemplo, una parte de un dibujo o un grupo de textos o símbolos) de un documento a otro, sin más que tomarla del primero y depositarla en el segundo. Esta característica marca la diferencia entre los sistemas que entienden los proyectos como unidades aisladas y los que consideran cada proyecto como una parte de la *memoria corporativa* del estudio, que se va enriqueciendo progresivamente con la experiencia y en la que ninguna tarea puede dejar de ser aprovechada en el futuro.

9. *Estructura jerárquica.* Tampoco ésta es una característica habitual en los programas actuales. Consiste en la posibilidad de definir entidades como conjuntos de otras entidades de menor nivel, de forma que las operaciones de editar, borrar, reproducir o trasladar se puedan aplicar siempre a cualquiera de los niveles. Por ejemplo, los peldaños dan lugar a zancas, las zancas y las mesetas se agrupan en tramos de escaleras y estos tramos forman escaleras completas; el usuario puede decidir en cada momento el nivel adecuado de detalle, por ejemplo, cuando traspasa soluciones completas de unos a otros proyectos o cuando desea realizar una operación determinada.

10. *Inteligencia razonable.* Diferentes niveles de inteligencia pueden dar lugar a programas interesantes y útiles, con tal de que el arquitecto esté informado sobre las interrelaciones automáticas entre los elementos del proyecto y pueda diferenciar claramente lo que se consigue mediante comandos, por potentes que sean, y lo que realmente está basado en la estructura de datos y entidades o primitivas manejadas por el programa. Uno de los avances en este campo puede venir por la programación 'orientada a objetos' y, basándose en ella, la definición de 'clases', es decir, objetos con

estructura y comportamiento prefijados que sean adecuados para la descripción completa del proyecto de arquitectura.

Dado el amplio abanico de programas a su disposición, los arquitectos actuales se encuentran ante una difícil elección, pero también han de ser conscientes de que les ha tocado vivir un momento histórico en la evolución de su forma de trabajar.

Intercambios

El ordenador facilita y estimula enormemente el intercambio de información. Es sencillo utilizar partes de un proyecto en otro proyecto, duplicar una biblioteca de símbolos realizada por otros arquitectos o enviar un documento —si no es muy grande— a través de las líneas telefónicas normales.

Sin embargo, la facilidad física del envío no va paralela a la seguridad de entendimiento del contenido. Es decir, faltan sistemas aceptados de intercambio de información y, cuando los hay, son de un nivel excesivamente bajo y la mayor parte de la información significativa se pierde.

Hay diferentes sistemas de intercambio para cada tipo de información:

— *Intercambio de caracteres.* El código ASCII (American Standard Code for Information Interchange) es un convenio para el envío de información alfanumérica. En contra de lo que se piensa vulgarmente, el código ASCII sólo normaliza el envío de cada carácter aislado, pero no dice nada sobre la estructura de la información. Por lo tanto, si se envía la palabra 'ladrillo' en código ASCII, se tiene la seguridad de que el receptor entenderá 'ladrillo', pero si la palabra forma parte de un pliego de condiciones, la organización del documento, es decir, la estructura de párrafos y márgenes, el tipo de letra y sus atributos se perderán, ya que el código ASCII no incluye un convenio para su traspaso.

Cuando se envía gran cantidad de información la recuperación de la estructura puede ser una tarea irrealizable. De ahí que la simple mención de 'código ASCII' no garantice el entendimiento entre el programa que emite y el que recibe.

— *Texto estructurado.* Para que no se pierda la estructura de la información alfanumérica es necesario definir convenios más detallados que el código ASCII, y estos convenios dependen del tipo de información que se haya de transmitir. Por ejemplo, para la transmisión de bases de precios de construcción, presupuestos y mediciones de obras, se ha establecido en nuestro país el Formato de Intercambio Standard (FIS), que reconocen casi todos los programas de mediciones y presupuestos. Otra manera de enviar documentos formateados es usando estándares *de facto,* es decir, programas muy difundidos, cuyo formato interno se utiliza con la esperanza de que

el receptor disponga del mismo programa. En el caso del envío de textos suele utilizarse para ello el formato del tratamiento de textos WordPerfect.

— *Formatos vectoriales.* Tratan del intercambio de dibujos de línea. Contienen especificaciones para el envío de rectas, círculos, arcos, texto y tramas, es decir, de todo aquello que puede ser dibujado por un trazador de plumas. Los trazadores, de hecho, suelen ser controlados directamente mediante este tipo de formatos.

Siendo también de bajo nivel, no son adecuados para transportar información estructurada. Los símbolos, cotas o líneas complejas se transmiten como trazos individuales, por lo que se pierde la agrupación entre ellos. Uno de los formatos vectoriales más habituales es el lenguaje HPGL.

— *Planos.* Los formatos de intercambio de planos tratan de enviar y recibir información con la mayor estructuración posible, de forma que las entidades complejas que maneja un programa de dibujo se traspasen como tales. Naturalmente, realizar convenios a este nivel es más difícil que normalizar rectas y segmentos, por lo que no se garantiza un elevado nivel de compatibilidad. Es decir, entre el programa A y el programa B sólo pueden intercambiarse las entidades comunes a ambos. Si, por ejemplo, se traspasa una elipse de A a B, y éste programa no considera elipses, esta figura geométrica llegará, en el mejor de los casos, convertida en una aproximación mediante arcos. El intercambio en la dirección contraria, sin embargo, nunca producirá una elipse a partir de estos arcos, por lo que la información traspasada estará cada vez más degradada.

El formato de intercambio de planos más habitual es DXF, desarrollado por la empresa norteamericana AutoDesk, que constituye un estándar *de facto,* aunque fuera del mundo de los ordenadores compatibles se utiliza sobre todo el formato IGES.

— *Formatos de puntos.* A veces se denominan 'documentos' o 'imágenes' a las piezas de información que se transmiten en forma de facsímil, es decir, convertidos en puntos de color o en blanco y negro. Estos formatos se conocen también por su nombre inglés: *raster.*

Éste es el tipo de información que lee un escáner y que imprime un fax o, con mayor resolución, una impresora láser. Existen varios formatos de intercambio de imágenes, como TIFF, PCX, EPS o Targa. Naturalmente, son incompatibles entre sí, aunque muchos programas son capaces de exportar e importar muchos de ellos.

Los documentos en formato de puntos, a cambio de conservar imágenes exactas del original, ocupan mucho más que sus contrapartidas de texto o vectoriales y, además, mantienen la información en una forma mucho menos utilizable. Para convertir información *raster* a formatos de texto se usan los reconocedores ópticos de ca-

racteres (OCR son sus siglas en inglés). La técnica de convertir documentos *raster* en planos está todavía lejos de la perfección y consiste en programas llamados 'vectorizadores'.

— *Intercambio de modelos.* La transmisión de dibujos es una solución parcial al problema de la comunicación entre programas y, por tanto, entre personas o equipos de trabajo. Si se desea transmitir la información de un proyecto entre arquitectos que usan dos sistemas de modelado distintos, la única posibilidad es generar y transmitir los planos, porque no existe un convenio para enviar el modelo. Por ello, hace tiempo que se trabaja buscando sistemas que permitan transmitir los modelos completos, con sus elementos originales y todas sus propiedades. Uno de los proyectos en esta dirección es el formato STEP, siglas de Standard for the Exchange of Product Data [véase Gielingh, «Computer Integrated Construction: A Major STEP Forward»], en vías de desarrollo por parte de la Organización Internacional de Normalización, cuya contrapartida norteamericana es el formato PDES (Product Data Exchange Specification).

CAPÍTULO 3

LA INFOGRAFÍA ARQUITECTÓNICA

Concepto y campos de actuación

En términos generales, la aplicación de los ordenadores al campo gráfico ha dado lugar a una nueva disciplina que en Italia ha sido bautizada como «*eidología* (*eidos* es 'imagen', pero también 'idea', es decir, representación de los objetos en el espacio, incluido el cuerpo y sus movimientos, esto es, sus relaciones con los objetos y las variaciones temporales de tales relaciones)». Según esta concepción, la eidología informática quedaría definida como «el conjunto de las teorías y las técnicas para la adquisición, el tratamiento y la presentación de imágenes mediante instrumentos informáticos y dispositivos electrónicos específicos» [Morasso y Tagliasco, *Eidologia informatica...*, pp. 18 y 20]. Se trata de una disciplina compleja que se vale de conocimientos procedentes de los siguientes campos:
— *informática,* tanto por lo que se refiere al equipo de adquisición y elaboración, como por lo que respecta a los programas de tratamiento, síntesis, visualización, etcétera, de la imagen;
— *óptica,* en lo que tiene de utilización de instrumentos ópticos de adquisición y elaboración de imágenes, y de teoría del color;
— *electrónica,* que se ocupa de los dispositivos específicos de adquisición, elaboración y presentación de imágenes;
— *fisiología de la visión,* para el estudio de los procesos a través de los cuales la imagen es percibida por el hombre y por otros organismos biológicos;
— *inteligencia artificial,* para la interpretación de las imágenes y su descripción simbólica;
— *dibujo,* por lo que se refiere a las técnicas de conceptualización y de presentación de las imágenes (proyecciones, reflejos, sombreados, etcétera) [Morasso y Tagliasco, *Eidologia informatica...*, p. 21].

Una parte de esta disciplina genérica sería la *infografía* o *computer graphics.* En términos generales, la infografía no hace más que presentar de un modo gráfico una serie de datos almacenados en la memoria de un ordenador. Así pues, la definición más amplia de 'imagen infográfica' sería la de «representación visual de la informa-

ción, que es generada y manipulada por un ordenador» [Hewlett-Packard, *Introduction to Computer Graphics,* p. 1].

Estas representaciones pueden hacer referencia a series de datos en abstracto o bien a informaciones que, en conjunto, forman *objetos* concretos. Esta parcela de la infografía es la que vamos a tratar aquí, en la medida en que la arquitectura está definida por cuerpos tridimensionales que ocupan determinado espacio real (o sólo virtual, si aún están en proyecto). Con este nuevo matiz, la infografía, según Alessandro Polistina, se puede definir como «el conjunto de las tecnologías y de los métodos de síntesis de las imágenes basados en un modelo de representación de modelos de objetos» [«Computergraphica e rappresentazione...», p. 95].

Desarrollando más ampliamente el mismo concepto, Jankel y Morton lo definen como «una combinación de *modelado* (descripción de un objeto a partir de coordenadas, líneas, superficies y sólidos); *almacenamiento* (del modelo en la memoria del ordenador); *manipulación* (modificaciones diversas del modelo, por ejemplo alterando su forma o fundiendo dos modelos en uno solo); y *visión* (el ordenador adopta un punto de vista concreto desde el que observa el modelo y lo restituye a la pantalla)» [*Creative Computergraphics,* p. 10].

CAD: dibujo y diseño asistidos por ordenador

A los arquitectos no hace falta convencerlos de las ventajas de la información gráfica; al contrario que otras profesiones, siempre han trabajado con ella. Pero aquí no nos interesa únicamente la infografía en términos genéricos, es decir, entendida como medio de representar electrónicamente un objeto que se ha almacenado como una montaña de datos procesados informáticamente.

La parcela de la infografía que vamos a estudiar a lo largo del libro es la conocida popularmente por las iniciales CAD (Computer Aided Drafting, Drawing y/o Design). En España, siguiendo el modelo francés, se está intentando imponer —sin demasiado éxito por el momento— la traducción DAO (Delineación, Dibujo o Diseño Asistido por Ordenador). Dentro de esta familia existen también otros *hermanos:* así, CAM/CAE hace referencia al mismo concepto pero aplicado a la fabricación *(Manufacturing)* y a la ingeniería *(Engineering).* E incluso hay una rama específica para el diseño arquitectónico: el CAAD o DAAO (añádase una A de arquitectura).

Pero si bien los campos de aplicación se van acotando cada vez más, los conceptos todavía pueden tener varias interpretaciones. Como explica Tom Porter en el último de sus libros sobre dibujo de arquitectura, según aquéllos para quienes la D significa simplemente 'dibujo' o 'delineación', el CAD o DAO consiste en «la aplicación de la electrónica al tablero de dibujo»; por el contrario, para quie-

nes hablan de 'diseño', el CAD constituye «un término maravillosamente amplio que abarca en potencia todos y cada uno de los aspectos del proceso de diseño, desde los detalles constructivos hasta los planos y vistas perspectivas, pasando por la programación y el listado de las mediciones» [*Graphic Design Techniques...*, p. 150].

En efecto, la aplicación de la informática a la arquitectura —especialmente en el campo gráfico— supone desde el principio un cambio cualitativo en la forma de trabajar del arquitecto. Usando el ordenador, difícilmente va a poder hacer esos croquis sobre cualquier papel que suelen constituir el principio de todo proyecto. Sin embargo, sí que será posible elaborar planos a la manera tradicional, aunque generalmente no serán simples *dibujos*, sino representaciones parciales de un *modelo* que estará contenido íntegramente en la memoria del ordenador. La información completa de dicho modelo —es decir, no sólo planos y detalles, sino también mediciones, presupuestos, estructuras, instalaciones, etcétera— será lo que constituya el nuevo *proyecto infográfico*.

A continuación y en el capítulo 4 nos ocuparemos en particular de los aspectos específicamente gráficos del dibujo por ordenador, dejando los temas referentes al modelo y al proyecto infográficos para el capítulo 5.

Dado que los arquitectos manejan sin dificultad todo lo referente al dibujo que podríamos denominar *tradicional*, la mejor manera de explicar las posibilidades del nuevo dibujo *infográfico* será ir trazando un paralelo entre ambos. En arquitectura, se puede decir que un dibujo consiste en «una imagen realizada dentro de un determinado estilo gráfico y con una determinada finalidad arquitectónica».

Según esta definición, las características específicas del dibujo arquitectónico realizado por ordenador afectarían fundamentalmente al denominado 'estilo gráfico', es decir, al conjunto de cualidades formales y técnicas que definen una determinada representación. Sin embargo, también se producen ciertas diferencias en lo que se refiere a los otros dos parámetros de la definición citada ('imagen' y 'finalidad' arquitectónicas).

El tema del estilo gráfico conviene tratarlo en detalle, por lo que nos remitimos al capítulo siguiente ('Nuevas formas' y 'Nuevas técnicas'); y algo semejante ocurre con respecto a la finalidad arquitectónica.

No obstante, hemos de adelantar aquí que el nuevo dibujo infográfico es aplicable a la mayoría de los usos tradicionales del dibujo arquitectónico, pero resulta especialmente poco adecuado para todo lo referente a la expresividad intuitiva e inmediata. Sí conviene, en cambio, aclarar cuanto antes las diferencias entre el dibujo tradicional y la imagen producida informáticamente.

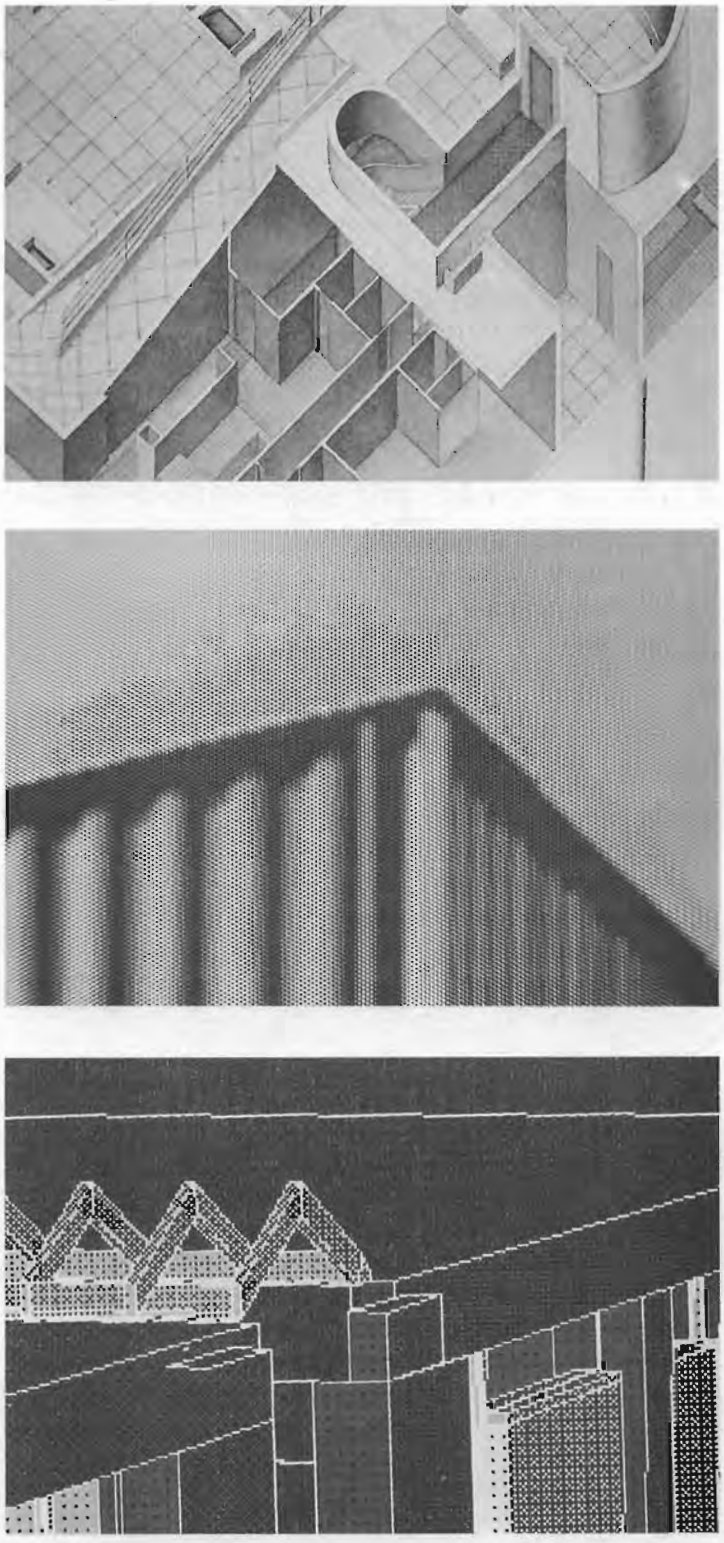
Dibujo e imagen electrónica

Gran parte de las diferencias entre el dibujo infográfico y el dibujo tradicional proceden de la naturaleza diversa que poseen las imágenes electrónicas y las imágenes gráficas. Las primeras son, por definición, *digitales,* es decir, discontinuas: están formadas por infinitos elementos que parecen infinitamente pequeños, pero que en realidad no lo son tanto. Las segundas son *analógicas,* es decir, continuas: una línea sobre un papel no es una sucesión de puntos infinitamente próximos, sino un trazo que empieza en un sitio y acaba en otro sin solución de continuidad; una superficie de color a la acuarela tampoco es una sucesión de líneas infinitamente próximas, sino una capa bidimensional continua. Por ello, la precisión que se alcanza en un dibujo a línea difícilmente se puede conseguir en una pantalla, por mucha resolución que tenga. Esto se puede paliar en parte con algunas impresoras o trazadores que reproducen no tanto la imagen exacta de la pantalla, sino la imagen conceptual que se ha introducido en el procesador. Esto significa que las diagonales que aparecen escalonadas en el monitor pueden imprimirse como líneas continuas sobre el papel (figura 21).

En segundo lugar, cuando se trabaja con un ordenador, se opera fundamentalmente con una imagen visual no materializada gráficamente más que en la pantalla. Sólo cuando esta imagen está definitivamente acabada se transforma en un documento similar a un dibujo, es decir, en una representación propiamente gráfica sobre papel o un soporte similar. Esta duplicidad podría compararse, salvando las distancias, a la de dibujar primero a lápiz —de modo que se puedan hacer todas las correcciones necesarias— y luego pasar a tinta la versión definitiva.

Esta naturaleza digital y electrónica de la imagen informática hace además que se pueda trabajar con una sola imagen durante todo el proceso, imagen que se puede reproducir a escalas diversas según las necesidades concretas. Esto no se puede hacer con la imagen gráfica, desde el momento en que su materialización física hace imposible su reducción o ampliación conceptual. He aquí una de las mayores diferencias *estructurales* entre el dibujo infográfico y el tradicional: en el caso del ordenador, la información es única y su reproducción puede ser múltiple; en el dibujo, por el contrario, la información coincide siempre con su representación. O dicho de otro modo: en los proyectos realizados a la manera tradicional no hay más información que la que aparece en los planos, mientras que en los proyectos elaborados por ordenador los dibujos son informaciones parciales de un modelo mucho más completo que se encuentra almacenado en el procesador.

Estamos, por tanto, ante dos sistemas fundamentalmente distin-



21. Las imágenes del dibujo tradicional *(arriba)* son analógicas, es decir, continuas, mientras que las imágenes electrónicas, tanto las de pantalla *(centro)* como las de impresora *(abajo)*, son digitales, esto es, están formadas por elementos discretos.

tos, y no tiene sentido buscar entre ellos una articulación forzada más allá de las posibilidades de cada uno. Los dibujos son dibujos, y se seguirán haciendo seguramente durante mucho tiempo. Las imágenes electrónicas se plasman en reproducciones gráficas que tratan de parecerse lo más posible a los dibujos, pero que por el momento no pueden llegar a las cotas más altas de definición de éstos.

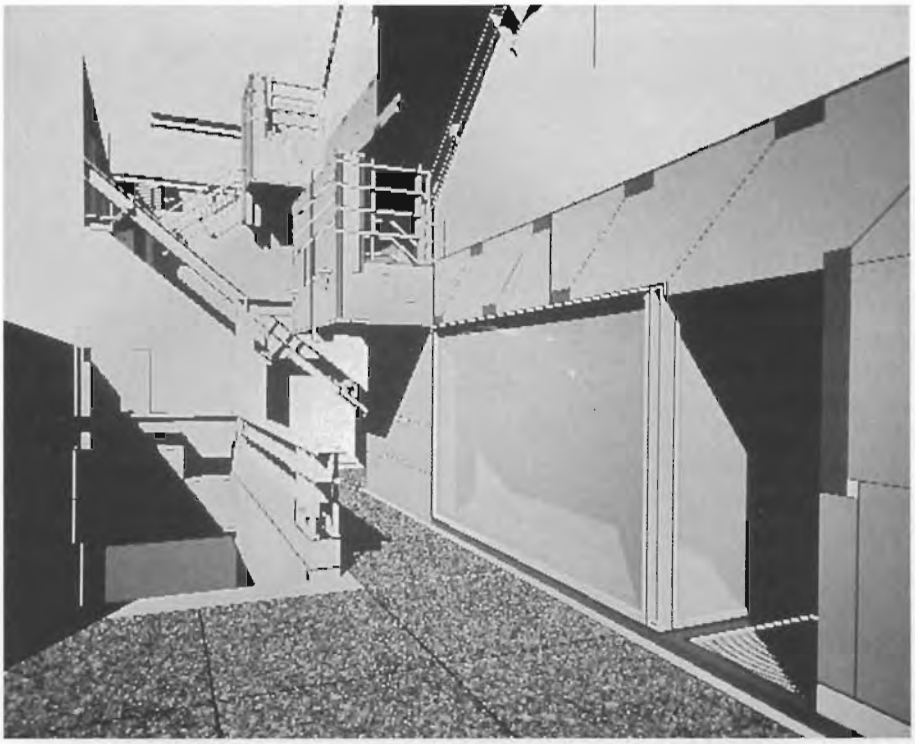
Hay que añadir que la misma diferencia entre un sistema analógico y otro digital se encuentra en la propia forma de actuar del operador. Al hacer un dibujo, una recta se traza como una recta, moviendo la mano linealmente; y un círculo se traza pinchando la punta del compás en el centro y haciéndolo rotar a su alrededor. En un ordenador ambas operaciones se hacen habitualmente pulsando teclas, por lo que el uso del ratón puede asimilarse al de un utensilio de dibujo. De todos modos, en el ordenador tanto la recta como el círculo se definen por sus parámetros geométricos lógicos, pero no se trazan realmente sobre una superficie gráfica.

Complejidad y convencionalidad

Una reflexión de carácter más general es la que tiene que ver con la relación entre la complejidad del instrumento y la convencionalidad del resultado. Al menos en el campo gráfico, parece razonable pensar que según aumenta lo primero aumenta también lo segundo. Esto quiere decir que cuando se utilizan instrumentos gráficos muy complejos o especializados el dibujo tiende a perder personalidad para convertirse en algo convencional.

Con un simple lápiz cada artista ha dibujado siempre a su manera, y se pueden reconocer las diversas *manos* en el propio trazo del dibujo. Lo mismo se puede decir de un pincel y una simple caja de acuarelas. Por el contrario, lo que hoy entendemos como dibujo de proyecto (llamado 'técnico' o, erróneamente, 'arquitectónico') está realizado con instrumentos mucho más perfeccionados (minas de diversas durezas, Rotring, trazadores de elipses, tecnígrafo, etcétera), pero sus resultados tienden a ser convencionales. El estilo de estos dibujos no se suele encontrar en el trazo, sino en una serie de cualidades diversas, como pueden ser las preferencias por uno u otro sistema de proyección o la mayor o menor textura gráfica de la representación.

Siguiendo en la escala de la complejidad, es evidente que las imágenes producidas en el ordenador son bastantes semejantes entre sí en lo que se refiere a su estilo gráfico. De modo que si la 'revolución Letraset' estuvo a punto de conseguir que todos dibujásemos igual, el ordenador probablemente ya lo está consiguiendo. Sin embargo, todo esto es fruto del momento inicial en el que se encuentra esta tecnología. De hecho, ya hay estudios en los que se está logrando cierta *personalidad* a la hora de producir imágenes



22. Dos ejemplos de estilos infográficos: Norman Foster *(arriba)* y Shin Takamatsu *(abajo)*. Ambas imágenes han sido elaboradas con los mismos programas: MicroStation y ModelView (véanse también las láminas XI, XII y XXI).

infográficas. De forma que prácticamente ya es posible distinguir un dibujo de Norman Foster de otro de Shin Takamatsu aunque ambos estén hechos con el mismo sistema infográfico (figura 22).

Nueva definición

Tomando en consideración las diferencias señaladas más arriba, la definición tradicional de dibujo como una simple representación gráfica analógica que hace referencia a un objeto arquitectónico (real o virtual) debería matizarse como sigue: *un 'dibujo' de arquitectura elaborado por ordenador es la reproducción gráfica de un modelo electrónico de carácter digital, obtenida automáticamente a través de un sistema informático (equipos y programas) que determina su estilo gráfico, y con ciertas finalidades arquitectónicas limitadas por las posibilidades de dicho sistema.*

Así pues, el dibujo infográfico de arquitectura habrá de ser tan específico como lo era el dibujo tradicional, y la infografía arquitectónica será aquella que permita la manipulación de objetos con todas las características propias de los edificios (es decir, que se apoyen en el suelo, que tengan espacios vacíos en su interior, que estén compuestos de multitud de materiales distintos, etcétera). Asimismo, deberá permitir un tipo de representación que se asemeje todo lo posible a la utilizada tradicionalmente por los arquitectos: esto es, habrá de contar con la posibilidad de trabajar en planta, alzado y sección, así como en axonometría y perspectiva; deberá dotar a estas representaciones de todas las variables gráficas (línea, textura, color, luz y sombra, etcétera); y tendrá que plasmar estas imágenes sobre un soporte tradicional, en concreto sobre papel. Finalmente, la infografía arquitectónica deberá permitir la consecución de los fines para los que se ha venido usando el dibujo tradicional, es decir, no sólo la realización de proyectos, sino también el estudio y análisis de edificios existentes, así como la investigación en temas específicamente arquitectónicos.

Nuevos atributos

El nuevo dibujo infográfico tiene unos rasgos propios que lo diferencian, incluso conceptualmente, del dibujo tradicional. Con respecto a las tres características *generales* del dibujo de arquitectura —utilidad, belleza y durabilidad—, se pueden hacer ciertas matizaciones.

En primer lugar, los dibujos por ordenador pueden servir para lo mismo que los tradicionales, pero dicha *utilidad* no se limita

únicamente a la propia representación, sino que se extiende de un modo general a la información contenida en el procesador. Y ésta es mucho más útil dado que es mucho más amplia. El uso que se puede hacer de un conjunto de planos (por ejemplo, un proyecto) empieza y acaba en la información reflejada en ellos. Sin embargo, de la documentación introducida en un procesador sobre un determinado objeto arquitectónico (por ejemplo, el mismo proyecto) se pueden obtener reproducciones gráficas mucho más variadas que las que refleja un conjunto de planos tradicionales.

En este sentido, un proyecto arquitectónico informatizado, además de contener mucha más información, es mucho más versátil que uno tradicional: se puede modificar en cualquier momento y además se puede obtener la información gráfica discriminada, es decir, escogida y limitada en función de las necesidades concretas. Ésta es una de las grandes diferencias entre una colección de *dibujos* bidimensionales y un *modelo* tridimensional: «'Modelar' un objeto, en vez de limitarse a tener sus dibujos, permite recabar de él una pluralidad de informaciones útiles: cómo deberá construirse, cómo conseguirá mejor su objetivo, cuánto pesará, cuál será su coste. El ordenador llevará adelante su análisis con éxito sólo si dispone de una representación más compleja que un conjunto de dibujos...» [Jankel y Morton, *Creative Computer Graphics*, p. 56].

Con respecto a la *belleza* de estos dibujos informáticos basta decir que por el momento tratan de imitar las características formales de los dibujos tradicionales. Cuando tales características se adecúan a las posibilidades del sistema digital (en especial las representaciones de objetos fundamentalmente ortogonales reproducidos a línea) los resultados son bastante correctos. Sin embargo, cuando se superan tales posibilidades, dicha espectacularidad no suele traspasar el campo de la imagen visual creada en la pantalla. La calidad de ésta depende fundamentalmente de su resolución (número de *pixels* y de colores simultáneos) y ya se pueden conseguir resultados más bien espectaculares, pero su reproducción gráfica aún está lejos de alcanzar la calidad de un dibujo tradicional, especialmente en tamaños superiores al DIN A4. De todos modos, dada la velocidad de evolución de la tecnología infográfica, puede que dentro de poco la anterior afirmación haya quedado obsoleta.

En cuanto a la *durabilidad*, el ordenador sí que supone un gran paso adelante. Muchos dibujos se han perdido, entre otras razones, debido a la inadecuación de su soporte físico. Hemos de recordar que la verdadera historia del dibujo de arquitectura comienza, en Occidente, con la planta ideal del monasterio de St. Gallen simplemente porque no se ha conservado ningún documento anterior que se pueda denominar propiamente dibujo arquitectónico. En este sentido, el soporte informático parece ofrecer muchas más garan-

tías. La historia de esta tecnología es aún corta, pero una de sus virtudes es precisamente que el almacenamiento de la información resulta económico y bastante seguro. El problema que ha surgido siempre es el de la compatibilidad entre sistemas de almacenamiento y sistemas de creación, modificación y reutilización, además de los propios de la reproducción gráfica. Sin embargo, incluso en este caso, la conciencia de la necesidad de un lenguaje común ha existido siempre, y la tónica general es la de que los nuevos lenguajes deben ser siempre capaces de entender la información almacenada por sus antecesores. Para todo ello se han creado formatos de intercambio de información gráfica (véase el epígrafe 'Intercambios' en el capítulo 2), de modo que pueda existir una fácil comunicación entre los diversos sistemas infográficos. Esto puede ser una garantía de que los proyectos realizados por ordenador en nuestros días constituirán una información utilizable en el futuro. Al menos por el momento, parece que la documentación en soporte informático tiene menos posibilidades de desvanecerse que la contenida en un pergamino o en una película fotográfica.

De la artesanía al automatismo

Cabe preguntarse si el dibujo de arquitectura, al utilizar el ordenador, pierde inevitablemente su naturaleza *artesanal.* En primer lugar, el operador no *fabrica* personalmente el producto final, sino que hay todo un sistema electrónico e informático que lo separa de su obra. En segundo lugar, ni siquiera cuando manipula la imagen electrónica que luego será reproducida lo hace de un modo físico o táctil, sino que se limita a escoger entre las órdenes que le ofrece su programa y a ejecutarlas en un determinado orden lógico.

El hecho de que tampoco todos los dibujos de arquitectura tradicionales estén realizados personalmente por el arquitecto no contradice para nada este razonamiento. Es bien sabido que el auténtico *autor* de un grabado no es el grabador, sino quien ha diseñado el dibujo original y ha dirigido la labor de la reproducción. El grabador (y, en su caso, el delineante) sería tan sólo una especie de traductor que pasa la información de un sistema a otro.

Lo mismo puede suceder con el ordenador. Probablemente el arquitecto manejará personalmente el procesador sólo en las primeras fases del trabajo, pero será él el auténtico responsable del resultado final, tanto de la idea (diseño) como de la imagen (representación). En cualquier caso, el distanciamiento que el equipo informático impone entre el operador y el resultado final hace dudar de que éste pueda ser considerado como un producto *manufacturado.* De todos modos, la tendencia de los sistemas informáticos a estimular una forma de trabajo autónoma —aunque en comunicación con otros sistemas— hace que no sea difícil vislumbrar un

nuevo tipo de arquitecto como artesano infográfico (véase el epígrafe 'Una nueva artesanía' en el capítulo 6).

Una experiencia 'casi' real

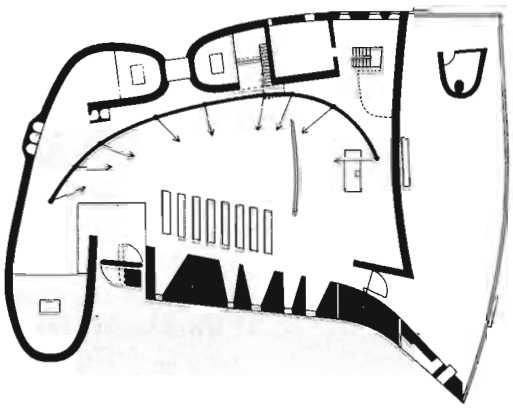
Otras tres características del dibujo arquitectónico que están en estrecha relación con la experiencia real de la arquitectura sufren, al utilizar el ordenador, profundas modificaciones, no tanto por lo que se refiere al resultado gráfico final, sino en cuanto a la imagen visual que se manipula sobre la pantalla. En efecto, los dibujos de arquitectura se caracterizan por ser documentos *estáticos, fragmentarios* e *inmutables.* No pueden reflejar el movimiento más que con algunos artificios gráficos; no representan más que una parte de la realidad global de un objeto arquitectónico; y sólo dan la información relativa a unas determinadas condiciones espacio-temporales. La imagen gráfica que se puede crear en el ordenador, por el contrario, se asimila más a la experiencia directa de la arquitectura.

En primer lugar, puede incluir la dimensión temporal. Ya existen programas que permiten establecer un recorrido en torno a un edificio y a su través, de modo que en la pantalla se reproduzca prácticamente la experiencia perceptiva de un supuesto observador (véase el epígrafe 'Animación' en el capítulo 4). Esto es lo más parecido a una representación cinematográfica, pero ahora se puede hacer con objetos arquitectónicos solamente imaginados por el arquitecto (y, naturalmente, introducidos íntegramente en el procesador).

Existen, incluso, sistemas que llevan las sensaciones perceptivas directamente a los sentidos: es la llamada 'realidad virtual'. Mediante unos visores a modo de gafas electrónicas y unos auriculares, las imágenes y los sonidos de un 'ciberespacio' existente en la memoria del procesador son experimentados por el espectador como si realmente estuviera dentro de él (véase el epígrafe 'Realidad virtual y ciberespacio' en el capítulo 6).

Todo ello diluye los límites entre la experiencia real y la representación de la arquitectura, que ahora se puede convertir en una auténtica 'experiencia virtual': «Bajo el perfil de los resultados prácticos hay que señalar también la importante posibilidad, ofrecida por la tecnología de este sector, de hacer científicamente representable, mediante la animación de la imagen, la dimensión temporal, necesariamente ausente en los métodos de representación tradicional. La sucesión de las imágenes construidas y representadas en tiempo real muestra de hecho la homogénea y gradual modificación de las formas de representación que se desarrollan con el movimiento del observador, con la rotación del objeto observado o con su propia transformación, en ausencia de cualquier solución de continuidad a la que pueda atribuirse el papel de límite sustancial

23. Un paseo infográfico por la capilla de Ronchamp, de Le Corbusier, según el recorrido marcado en la planta. Se trata de un trabajo elaborado en la Universidad de Cornell bajo la dirección de Donald Greenberg (véase también la lámina III).



entre diversas clases de imágenes» [De Rubertis, *Computer Graphics...*, p. 10].

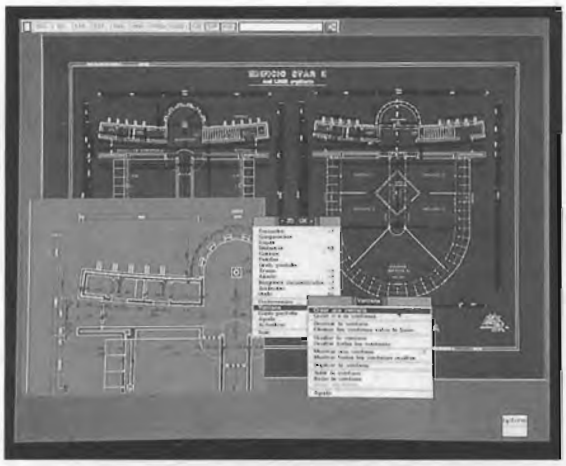
Igualmente, la imagen reproducida en la pantalla puede parecer algo fragmentario, pero en realidad responde a una información global almacenada en el procesador. Como ya hemos dicho anteriormente, en un proyecto tradicional, la idea íntegra del edificio se obtiene por la suma de las informaciones concretas contenidas en los planos; y siempre hay datos que han de deducirse, puesto que no están representados gráficamente en ningún plano. En un proyecto informático (al menos en teoría) el objeto está completamente documentado, y las imágenes que obtenemos son partes de esa información que nosotros mismos elegimos para ser representadas en la pantalla, y eventualmente en la impresora. La materialización de esta concepción integral de la información se suele llamar 'hiperdocumento', y su aplicación a la arquitectura empieza a dar algunos resultados (véase el epígrafe 'Hiperproyecto' en el capítulo 5).

En tercer lugar —y siguiendo este mismo razonamiento—, un dibujo representa la imagen de un edificio en determinadas condiciones espaciales y temporales: por ejemplo, en una perspectiva desde determinado punto de vista y con unas ciertas condiciones de iluminación. El hecho de tener la información completa de este mismo edificio dentro de un procesador hace que su representación pueda obtenerse prácticamente en cualquier condición, sencillamente eligiéndola. En efecto, la imagen gráfica será única, pero con un simple cambio de parámetros se pueden conseguir un número prácticamente infinito de imágenes diversas.

En resumen, frente al estatismo, fragmentación e inmutabilidad del dibujo, la imagen infográfica puede ser *dinámica, global* e infinitamente *variable*. Es decir, prácticamente como la propia experiencia directa de la arquitectura. Por ello, en estos momentos se está desarrollando una actividad específica que consiste en partir de un proyecto ya diseñado (mejor si ha sido realizado directamente en el ordenador), preparando una simulación visual de cómo quedaría el edificio una vez construido, y comprobando la percepción que de él tendría un supuesto espectador, tanto desde puntos de vista fijos como en movimiento. Y algo semejante se puede hacer con un objeto arquitectónico ya existente, lo que abre nuevos caminos para la disciplina del levantamiento arquitectónico (figura 23).

Una nueva escala

Un atributo del dibujo de arquitectura que también sufre una modificación conceptual al trabajar con el ordenador es la noción de *escala*. En un dibujo concreto, su escala —sea absoluta, como en las proyecciones ortogonales y las axonometrías, o relativa, como en las perspectivas— es un dato fundamental de la representación. En

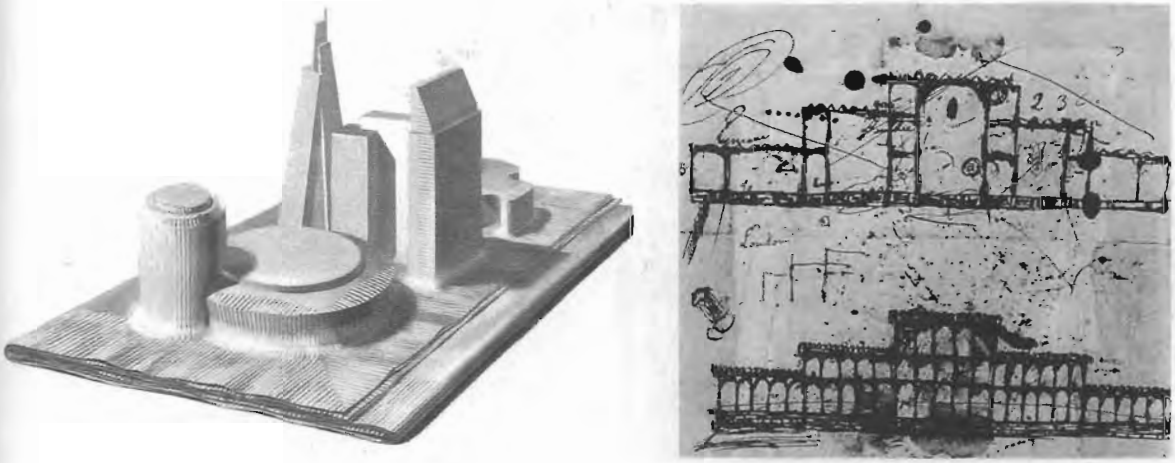


24. El ordenador introduce un nuevo concepto de escala gráfica *relativa*, en la que pierde sentido la relación aritmética entre el objeto y su representación. El sistema de *ventanas* permite además trabajar al mismo tiempo con varias escalas visuales.

la reproducción gráfica de la imagen electrónica ocurre lo mismo, sólo que la posibilidad de obtener la misma imagen a cualquier escala de un modo inmediato hace que la importancia crucial de este atributo resulte bastante más matizada.

Por el contrario, en la imagen visual de la pantalla, la escala como relación aritmética entre el objeto y su representación pierde todo su sentido. Sobre la pantalla lo único que importa es el tamaño de lo que vemos y, de hecho, el sistema de *ventanas* permite pasar del todo a la parte y de una parte a otra con tal facilidad que nunca se necesita saber a qué escala concreta está la imagen que tenemos ante nuestros ojos (figura 24). Sobre un plano tradicional tenemos que utilizar escalímetros para introducir o medir elementos; en la imagen electrónica la unidad de medida está inseparablemente ligada a la representación. Dado que no se actúa *realmente* sobre la imagen, sino a través de órdenes lógicas, no existe un instrumento que pueda parangonarse al escalímetro. La escala ha pasado a convertirse en una simple cuestión de proporciones entre los elementos que vemos en la pantalla.

Lo que sí sigue siendo importante es la relación entre las dimensiones de la propia imagen y las del elemento más pequeño que se usa para formarla. Este elemento sería, en el dibujo profesional actual, el Rotring 0,1; en la pantalla del ordenador, el *pixel;* y, en la reproducción gráfica de la imagen electrónica, el punto más pequeño que permita conseguir la impresora. Si en los dibujos tradicionales la escala elegida y el instrumento empleado determinaban la cantidad de información a introducir o, dicho de otro modo, el nivel de detalle de la representación, en el ordenador ésta es una operación que se realiza automáticamente. Es el propio procesador el que elige el nivel de definición gráfica en función del tamaño de la imagen, ya sea visual o gráfica. Es decir, se puede introducir toda



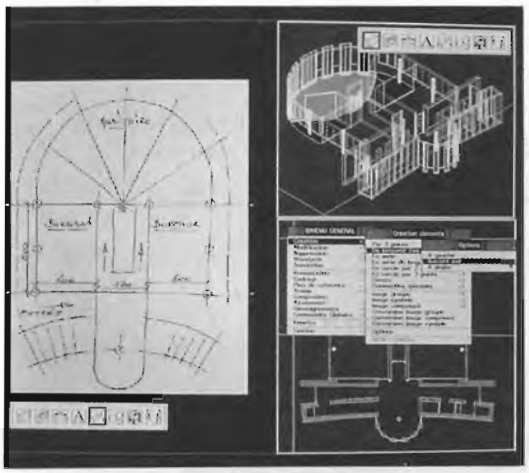
25. El programa Upfront se anuncia como una servilleta para hacer bocetos, pero en tres dimensiones *(izquierda)*. El croquis más famoso de la historia de la arquitectura es tal vez el boceto de Paxton para el Crystal Palace (1851), dibujado en un papel secante *(derecha)*.

la información referente, por ejemplo, a los componentes de la sección de un muro para que sean representados al hacer un detalle; pero estas múltiples capas desaparecerán automáticamente al solicitar información a una escala mayor, digamos 1:100.

Según De Rubertis, todas estas características se podrían resumir como sigue: «La exactitud geométrica, la rapidez de ejecución, la homogeneidad gráfica, la fiabilidad de los procedimientos de construcción de la imagen y la constancia cualitativa son de hecho los requisitos fundamentales de la infografía sobre los cuales se basa la construcción de un estándar geométrico de elevado nivel cualitativo, congruente con las aplicaciones científicas de las que debe darse comunicación mediante imágenes. De gran relevancia son además algunas propiedades características de los procesos analíticos que generan la imagen en el dibujo automático: la transferibilidad de las observaciones entre elaboraciones gráficas diversas, la verificabilidad inmediata de resultados en todos los tipos de proyecciones disponibles en el sistema adoptado, y la posibilidad de memorizar los datos gráficos como estructuras lógicas independientes de las formas de representación con las cuales los datos sean introducidos o recuperados» [De Rubertis, *Computer Graphics...*, p. 10].

La dificultad de la expresión

Si en todos los atributos anteriormente citados el ordenador procura, en general, unas mayores posibilidades para la representación arquitectónica, en el campo concreto de la *expresividad* su capacidad está muy por debajo de la del dibujo. En efecto, la vertiente expresiva del dibujo —su consideración como un lenguaje artístico y, por tanto, nada unívoco ni convencional— entran en claro conflicto con la orientación comunicativa y monosémica de las imágenes creadas electrónicamente: «El dibujo tradicional —expresión al mis-



26. Algunos programas permiten trabajar con croquis dibujados a mano que, una vez introducidos en el ordenador mediante un escáner, sirven de base para el desarrollo del diseño.

mo tiempo sintética y sensible, rápida y pregnante, del pensamiento proyectual— es insustituible como lo es todo aspecto de la representación que haga referencia a las cualidades más exquisitas del intelecto humano, en cuanto a problemas estéticos, lingüísticos o de contenido» [De Rubertis, *Computer Graphics...*, p. 20].

Existen programas informáticos especialmente diseñados para la fase inicial de concepción del diseño; algunos, como Alias Upfront, incluso se anuncian como *servilletas tridimensionales* haciendo referencia a ese mítico trozo de papel donde los diseñadores suelen esbozar sus ideas repentinas (figura 25). Es difícil imaginar que un arquitecto vaya a dejar de hacer croquis a mano alzada en cualquier papel que se encuentre sobre una mesa cuando le venga a la mente una idea para su proyecto. Parece imposible que este tipo de dibujos se puedan hacer a través de un instrumento tan complejo y *nivelador* como es el ordenador. Los croquis, bocetos, apuntes, etcétera, son imágenes que se crean casi con un vínculo directo entre la imaginación y la mano, y todo lo que signifique utilizar instrumentos que mediaticen este proceso implica un distanciamiento que va en detrimento de la expresividad. Por ello, otros programas permiten introducir mediante un escáner croquis dibujados directamente a mano y tomarlos como base gráfica del diseño a realizar con el ordenador (figura 26). Y es que difícilmente el ratón podrá sustituir al lápiz, ni la pantalla al folio suelto perdido sobre una mesa.

CAPÍTULO 4

EL DIBUJO INFOGRÁFICO

Un nuevo dibujo

Una vez definido el concepto de infografía y concretada su aplicación a la arquitectura, y una vez establecidas algunas semejanzas y diferencias *estructurales* entre el dibujo tradicional y el infográfico, hemos de abordar ahora el estudio comparativo de las tres dimensiones teóricas del sistema gráfico arquitectónico cuando, en lugar de un lápiz y un papel, se utiliza un ordenador. Vamos a examinar, por tanto, las categorías básicas de este nuevo 'sistema infográfico arquitectónico'. Esas dimensiones o categorías, según la teoría del dibujo de arquitectura, son tres: el *uso,* el *modo de presentación* y la *técnica gráfica.*

Pero antes debemos explicar someramente cómo se *dibuja* con un ordenador. Ya hemos hecho referencia a los equipos *(hardware)* y los programas *(software)* que forman parte de un sistema infográfico (véase el capítulo 2). Y en el mismo capítulo se han establecido las diferencias entre los programas denominados 'de dibujo' y los 'de diseño', y que fundamentalmente consisten en que los primeros trabajan con una serie de planos independientes (plantas, alzados y secciones, es decir, como se hace a la manera tradicional), mientras que los segundos elaboran un modelo tridimensional del que se pueden obtener diversas representaciones relacionadas entre sí. En este capítulo no vamos a hacer distinciones entre unos y otros programas, sino que vamos a centrarnos simplemente en las imágenes (esto es, en los *dibujos* infográficos).

Así pues, el dibujante infográfico se sentará delante de una o varias pantallas, con un teclado, un ratón y —tal vez por poco tiempo— un tablero digitalizador; y no muy lejos tendrá una impresora láser o un trazador. Y comenzará a introducir datos (como ejes, módulos o espesores de muros) de un modo lógico (es decir, eligiendo opciones de un menú, tecleando valores numéricos o marcando el principio y el final de una recta) para conseguir en la pantalla un resultado gráfico. Poco a poco irá completando su edificio dibujado, y de él obtendrá una serie de representaciones info-

gráficas que se podrán convertir en algo semejante a dibujos cuando se plasmen sobre un papel. Así pues, tanto las imágenes electrónicas de la pantalla como sus reproducciones gráficas *(hardcopies)* tendrán para nosotros la consideración de *dibujos infográficos.*

Nuevos usos

Con el término 'uso' queremos dar a entender el conjunto de cometidos que ha de cumplir el dibujo de arquitectura. De los múltiples usos que se pueden atribuir al dibujo, el ordenador se muestra claramente dotado para algunos de ellos, mientras que no parece ser muy adecuado para otros.

Proyectos integrales

Desde un punto de vista gráfico, un proyecto es un conjunto de dibujos y planos que representan una arquitectura imaginada que se quiere hacer realidad. Tal vez sea éste el campo donde el ordenador ofrezca más posibilidades para contribuir eficazmente a la labor del arquitecto. El proceso de diseño de un edificio se puede reproducir en el ordenador básicamente del mismo modo que se hace sobre el papel. La principal diferencia es que la concepción del objeto arquitectónico ha de ser integral.

El proceso tradicional consiste en imaginar el edificio en su totalidad, pero representar sólo algunas imágenes parciales que, sumadas y articuladas, puedan permitir su construcción. En el ordenador prácticamente hay que construir el edificio completo en un sistema codificado de variables métricas y de materiales. Si en esta información introducida existe alguna incoherencia o alguna carencia, el objeto no estará completo y ello se reflejará en su posterior representación. Los programas más avanzados trabajan desde el primer momento con elementos tridimensionales, de modo que su montaje responda más o menos exactamente a la construcción lógica del objeto.

Esta forma de trabajar no coincide siempre con las costumbres tradicionales de los arquitectos, que muchas veces generan sus proyectos como sucesión articulada de plantas, alzados y secciones que, sumados, dan como resultado un edificio. Las eventuales carencias de este sistema se resuelven más tarde, cuando el edificio ha de ser construido realmente.

Mientras que los planos de proyecto elaborados por ordenador aspiran a ser simplemente iguales que los dibujados a mano, un aspecto novedoso de los dibujos infográficos es el modo de mostrar y *vender* el proyecto al cliente. En el terreno gráfico, esta misión estaba encomendada hasta ahora a algunas perspectivas a colores

27. En la mayoría de los programas existen colecciones de signos gráficos que se incorporan directamente a los planos, escogiéndolos de una especie de plantilla. En la imagen, aparatos sanitarios en planta y alzado.

—lo más atractivas posible para el profano— encargadas a unos dibujantes especializados denominados, naturalmente, 'perspectivistas'. Ahora, la mayoría de los sistemas infográficos para arquitectura incluyen módulos de tratamiento de imágenes *(rendering)* que permiten realizar electrónicamente esas mismas perspectivas con todo tipo de texturas, reflejos, transparencias, luces y sombras. Los más avanzados cuentan con la posibilidad de enlazar una serie de puntos de vista y trazar así un recorrido *visual* por el interior o el exterior del edificio proyectado, formando con todo ello una especie de *videoclip* (véase el epígrafe 'Presentación y representación' en este mismo capítulo).

De esta forma, el arquitecto, una vez terminado el proceso de creación, puede mostrar el resultado a sus clientes de un modo claramente comprensible, tanto para los profanos como para los profesionales, y con un despliegue de medios desconocido hasta ahora (láminas IX a XXVI). En esta fase —como dice Polistina— «el proyecto se convierte en espectáculo» [«Computergraphica e rappresentazione...», p. 100]. Las eventuales modificaciones a realizar en esta primera propuesta no supondrían demasiados quebraderos de cabeza, ya que se podrían introducir con un mínimo empleo de tiempo y esfuerzo. Y una vez decidido el modelo a realizar, se aprovecharían todas las posibilidades del sistema informático para producir físicamente los planos definitivos, también en un tiempo y con un trabajo francamente reducidos en comparación con el método tradicional.

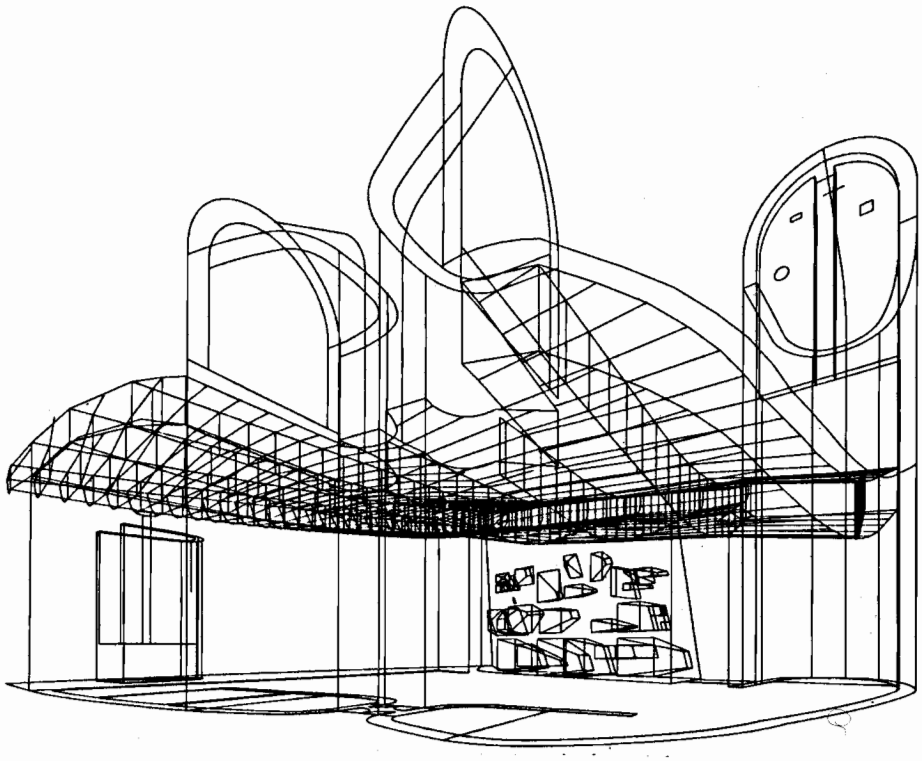
El sistema de almacenamiento informático permite además que todos los dibujos introducidos puedan ser utilizados infinidad de veces tal como están o con pequeñas variaciones debidas a cambios de circunstancias. Esto podría aplicarse fundamentalmente a los esquemas de tipologías edificatorias o a los sistemas modulares (hablando de trazados geométricos) y a los elementos recurrentes en todos los planos (hablando de símbolos). Se pueden crear así —y casi todos los programas ya lo han hecho— catálogos de elementos gráficos de los que basta elegir uno —y modificarlo en caso necesario— en lugar de diseñarlo y dibujarlo cada vez que haga falta introducirlo (figura 27).

Para concluir, podemos agrupar en tres tipos las funciones que debe cumplir el nuevo dibujo infográfico aplicado al proyecto:
— funciones de generación de la forma, esto es, de modelado y de lenguaje;
— funciones de detalle, especificación y modificación de las simbologías, esto es, de profundización; y
— funciones de representación y de simulación visual [Polistina, «Computergraphica e rappresentazione...», p. 94].

Vistas y ejemplos

Con respecto al uso tradicional del dibujo para representar en el papel una realidad arquitectónica tal como se ve (las llamadas *vistas*, cuyo periodo álgido fue sin duda el siglo XVIII), el ordenador no tiene mucho que aportar, salvo únicamente su almacenamiento como imágenes infográficas introducidas a través de periféricos como el *escáner* o la cámara de *vídeo*. En cuanto a la creación de estas vistas, sería un capítulo a considerar dentro del levantamiento arquitectónico con ordenador, de modo que una vez introducida la información relativa a un objeto arquitectónico existente, se pudieran generar este tipo de perspectivas de carácter visual (figura 28).

Otro uso tradicional del dibujo arquitectónico, como es el de los modelos o *exempla*, también puede tener su aplicación en el mundo de los ordenadores. Las conocidas colecciones de modelos arquitectónicos (de edificios completos o de elementos aislados), que servían de posible inspiración para el arquitecto a la hora de construir, pueden transformarse ahora en catálogos codificados cuyos componentes se puedan utilizar para proyectar nuevas composiciones. Las ventajas que aportaría el ordenador serían las de facilidad de clasificación, almacenamiento y acceso inmediato. La idea de que el uso de estos catálogos puede provocar un empobrecimiento compositivo de la arquitectura proyectada de este modo puede ser comparable al efecto producido por tratados como el de Vignola, que sirvieron para unificar el uso del lenguaje clásico, pero también para revestir de una cierta corrección lingüística edificios carentes de



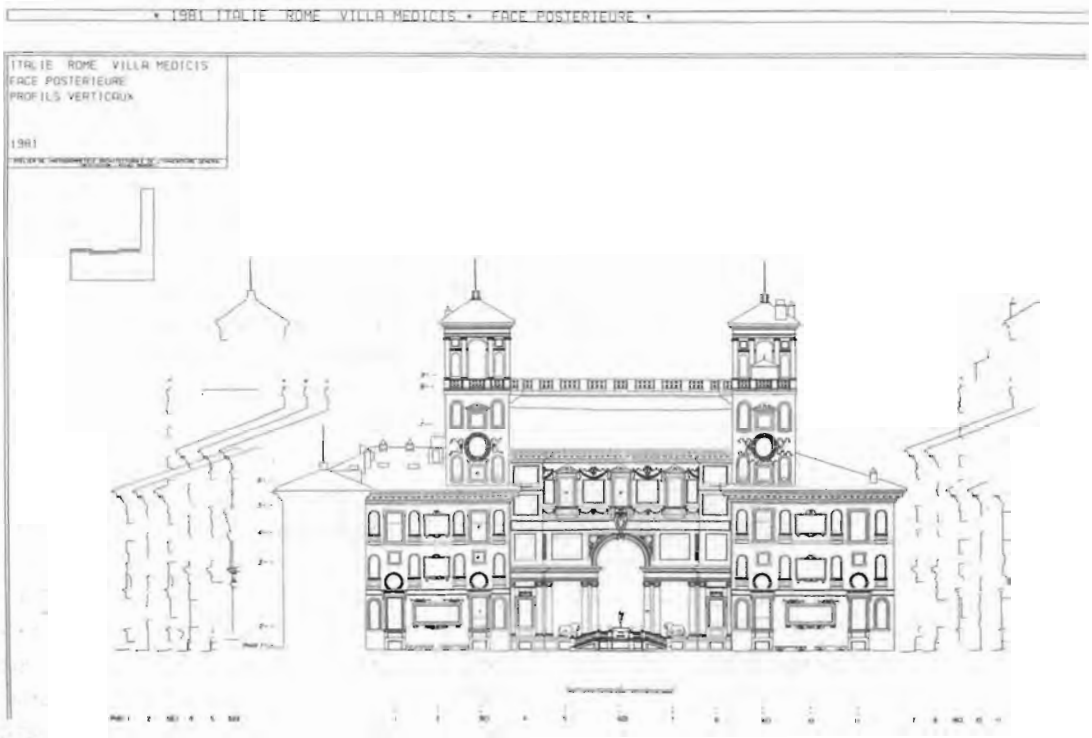
28. Modelo tridimensional de la capilla de Ronchamp, de Le Corbusier, dibujado en perspectiva *alámbrica* después de haberlo modelado en el ordenador.

interés compositivo. Afortunadamente, la auténtica creatividad del arquitecto suele estar por encima de los instrumentos que utiliza.

Levantamientos automáticos

El otro gran campo donde el ordenador parece surgir como un fuerte apoyo para la labor del arquitecto es, sin duda, el del levantamiento. Precisamente por las posibilidades de almacenamiento convencional de información, el sistema informático parece especialmente adecuado para favorecer una normalización de esta disciplina, con vistas a una documentación exhaustiva del patrimonio arquitectónico existente que permita su utilización no sólo en el momento de su realización, sino también en un futuro próximo.

«La contribución aportada por el dibujo automático a las operaciones de levantamiento e interpretación crítica del entorno construido se refieren primordialmente a dos ámbitos operativos: los procedimientos de restitución calculada a partir de tomas fotográficas o fotogramétricas, con la consiguiente representación de las formas; y los procedimientos para la codificación de la simbología icónica en todo tipo de elaboración gráfica. Los primeros se refieren a operaciones en parte similares a las relativas a los procedimientos de la cartografía automática, extendidas a la fotogrametría



29. Roma, Villa Medici. La restitución fotogramétrica *(arriba)* se ha convertido en un modelo infográfico del que, a su vez, se han elaborado imágenes de síntesis *(abajo)* utilizables no sólo en restauración, sino también en cinematografía o en diseño gráfico (véase también la lámina VIII).

arquitectónica y a la restitución perspectiva. Los segundos se refieren a los problemas de confrontabilidad y homogeneidad de las informaciones, de modo que se pueda hacer independiente de las influencias subjetivas el registro y la lectura de los datos recogidos» [De Rubertis, *Computer Graphics...*, p. 13].

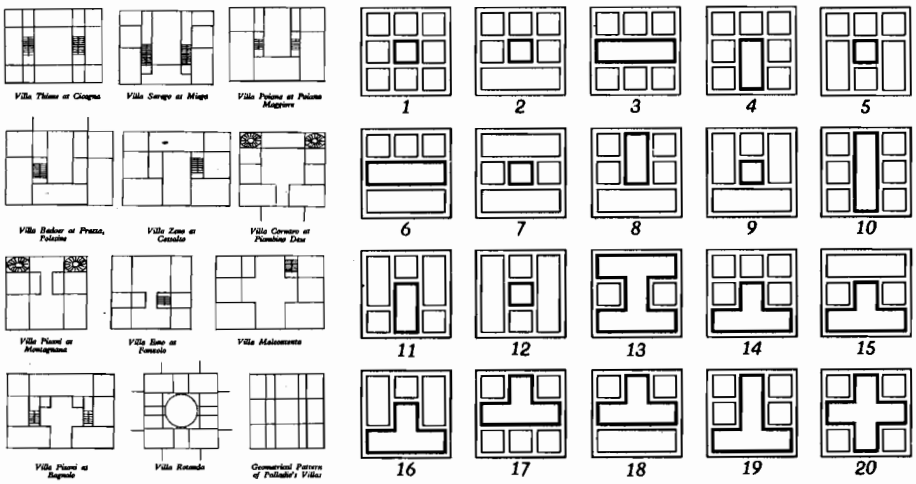
Las mayores dificultades del uso del ordenador para el levantamiento arquitectónico se centran por el momento en la introducción de la información. Todo ello proviene del hecho fundamental, ya mencionado, de que el procesador necesita la definición integral del objeto, mientras que en los planos tradicionales ésta era la suma de los distintos dibujos realizados. Si el proceso de medición de un edificio existente es ya de por sí un trabajo fatigoso, imaginemos si además tal medición ha de ser absolutamente completa y coherente. En estos momentos se tiende a buscar una solución tecnológica. Consiste en utilizar la fotogrametría no como un proceso que acabe en la representación gráfica, sino que se pueda extender también hasta la codificación informática.

En efecto, los restituidores fotogramétricos trabajan directamente con coordenadas matemáticas, por lo que no es difícil imaginar que estos datos puedan pasar automáticamente al procesador. De este modo, a partir de un reportaje exhaustivo de pares de tomas fotogramétricas se podría tener la definición geométrica del objeto arquitectónico de un modo integral. Esto es lo que están experimentando con éxito los responsables de la administración del patrimonio arquitectónico francés. Según parece, el empleo de tiempo y esfuerzo es todavía demasiado alto como para que este tipo de operaciones tengan como única finalidad la documentación del patrimonio. Así pues, los expertos franceses están tratando de rentabilizar estas inversiones produciendo 'imágenes de síntesis' que sean de utilidad en otros campos como la cinematografía, la publicidad o el diseño gráfico informatizado (figura 29).

«La vocación de este 'modelo numérico de síntesis' se presenta actualmente con una triple orientación:

— *Memoria espacial* del edificio, que sirve de soporte organizado para la documentación y facilita el registro detallado de informaciones técnicas (naturaleza del material, estado de conservación, etcétera) y de informaciones cronológicas (fecha de construcción, de intervención, etcétera).

— *Instrumento de visualización* de la intervención de restauración prevista, que explicita las decisiones técnicas, históricas o estéticas. La posibilidad de evidenciar eventuales modificaciones introducidas después de las obras, sobre el propio modelo y sin eliminar su estado original, proporciona informaciones sobre la historia reciente del edificio. Se pueden simular estudios sobre los empujes y sobre las cargas, y se pueden registrar las consiguientes deformaciones.



30. Los famosos análisis de Wittkower sobre las villas de Palladio *(izquierda)* frente a las plantas esquemáticas de 3 x 3 elementos producidas aplicando las reglas 1 a 19 de la gramática palladiana, según William Mitchell *(derecha)*.

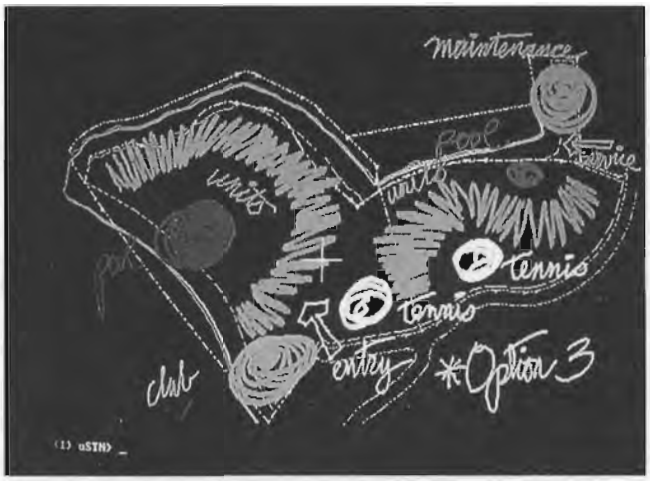
— *Representación 'espectacular'* de un ambiente que —además de suscitar, como actualmente ocurre, el interés de los cineastas— constituye evidentemente un instrumento didáctico de primer orden para la enseñanza de la arquitectura y de su historia al igual que para las informaciones turísticas de alto nivel (ediciones de modelos cronológicos, de recorridos guiados en pantalla, de juegos, etcétera)» [Saint-Aubin, «L'immagine di sintesi», pp. 24 y 26].

Éste será probablemente el futuro del levantamiento arquitectónico: mediciones fotogramétricas que se transformarán en imágenes de síntesis mediante el añadido de otras variables formales como el color, la textura y las sombras. Pero mientras que los datos geométricos se pueden introducir de un modo casi objetivo, estas otras cualidades sólo hace poco tiempo que han encontrado la forma de ser objetivadas y almacenadas. Existen módulos de tratamiento de imágenes que ofrecen catálogos de texturas y materiales que se pueden aplicar directamente a las superficies del modelo infográfico. Tampoco es difícil imaginar una posible operación de exploración *videoinformática* de las superficies de un edificio que permita extraer información precisa sobre textura, color y material, y pueda después codificar esta información para añadirla a su modelo geométrico.

Por lo demás, en el resto de las labores de levantamiento el ordenador empieza a ser insustituible. Tanto para la investigación histórica como para la clasificación normalizada de los datos numéricos (coeficientes, superficies, volúmenes, etcétera), la informática aporta toda su capacidad de almacenamiento codificado.

Investigación y creación

Otro capítulo del dibujo de arquitectura en el que el ordenador puede resultar un instrumento bastante útil es el de los estudios



31. No es fácil dibujar directamente a mano en el ordenador, aunque hay arquitectos que sí lo hacen. En la imagen, un croquis conceptual trazado y visualizado en la pantalla por miembros del Whitney Group, Houston.

analíticos, ya que las posibilidades del ordenador en este campo son de gran ayuda. Tanto en el caso de los esquemas, como en el de los dibujos comparativos o los de formulación teórica, la imagen infográfica permite realizar toda una serie de operaciones de descomposición y recomposición con un empleo mínimo de tiempo y esfuerzo. Dada la tendencia a la sencillez estructural de este tipo de dibujos, el uso de la imagen electrónica es muy adecuado para representarlos (figura 30).

Quedaría finalmente el tema de las fantasías expresivas, de esos bocetos desordenados, impulsivos y muchas veces ininteligibles que casi siempre se encuentran dibujados en los lugares más insospechados. Al ser el primer reflejo de la chispa creativa de un artista y tener un carácter sumario e inmediato, su evolución a lo largo de los tiempos no presenta diferencias notables, y no parece que la aparición del ordenador vaya a influir mucho en su desarrollo. En realidad —como ya hemos dicho al hablar de la expresividad como característica general del dibujo de arquitectura—, la complejidad del instrumento impide esa inmediatez tan necesaria para que un croquis rápido pueda ser auténticamente la expresión de un pensamiento arquitectónico. Si alguien ha intentado alguna vez firmar con el ratón, habrá comprobado que es un instrumento estupendo para marcar, pero para dibujar es tan inadecuado como un ladrillo (figura 31).

Nuevas formas

La categoría que hemos denominado 'modo de presentación' se refiere a los aspectos formales que muestran los dibujos. En paralelo

con el dibujo tradicional, también en la infografía arquitectónica pueden estudiarse tres apartados que determinan la apariencia formal de las imágenes elaboradas: los sistemas de proyección, las variables gráficas y la inclusión del lenguaje natural.

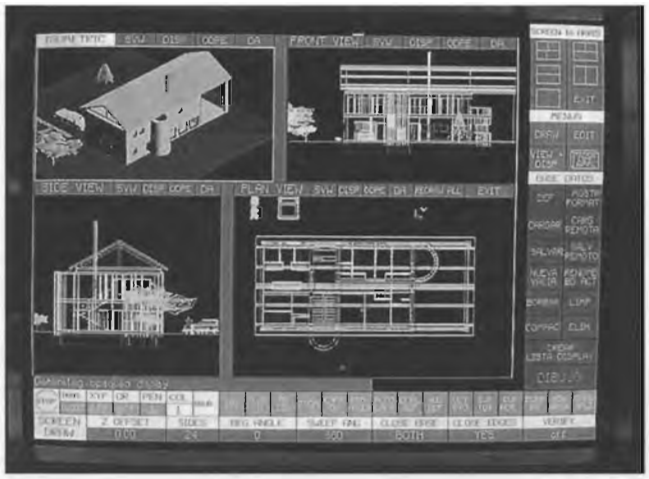
Sistemas de proyección geométrica

La aportación fundamental del sistema informático en lo que se refiere a los sistemas de proyección geométrica de la arquitectura es su consideración como un conjunto articulado de modos de presentar la imagen de un objeto tridimensional que está completamente codificado dentro del procesador. Esto ocurre en los programas de diseño en 3D, pero no en los de dibujo en 2D. En estos últimos se trazan *electrónicamente* las líneas de la misma manera que en el dibujo tradicional y con las mismas limitaciones de relación entre los diversos planos.

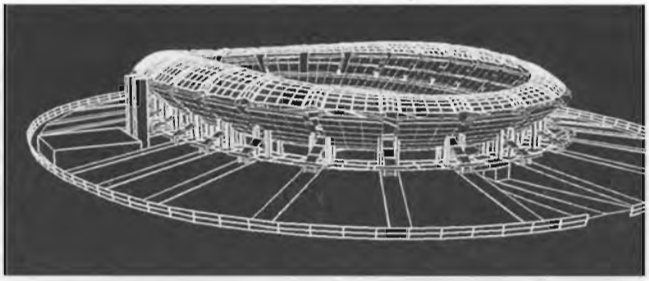
Mientras que las proyecciones ortogonal, central y paralela (planta/alzado/sección, perspectiva y axonometría respectivamente) se usan en el proyecto tradicional no sólo como modos de representación, sino incluso como categorías para la creación o comprensión de un proyecto, al utilizar el ordenador esta diferenciación pierde mucho de su sentido dado que se puede trabajar desde el principio y simultáneamente con los tres sistemas de proyección (figura 32).

Además de esta concepción integral de los sistemas de proyección, el ordenador permite acceder a algunas representaciones que tradicionalmente se han desechado debido a su complejidad. El uso de geometrías complicadas o la intersección de figuras múltiples solían desanimar al dibujante más avezado. La rapidez y efectividad del ordenador en estas cuestiones hace que se esté planteando el tema de la mayor o menor simplicidad formal de la arquitectura en función de la facilidad de su representación gráfica. Es posible pensar que estas arquitecturas de geometrías torturadas u obtenidas por intersección de figuras complejas hayan sido olvidadas en función de su imposible representación.

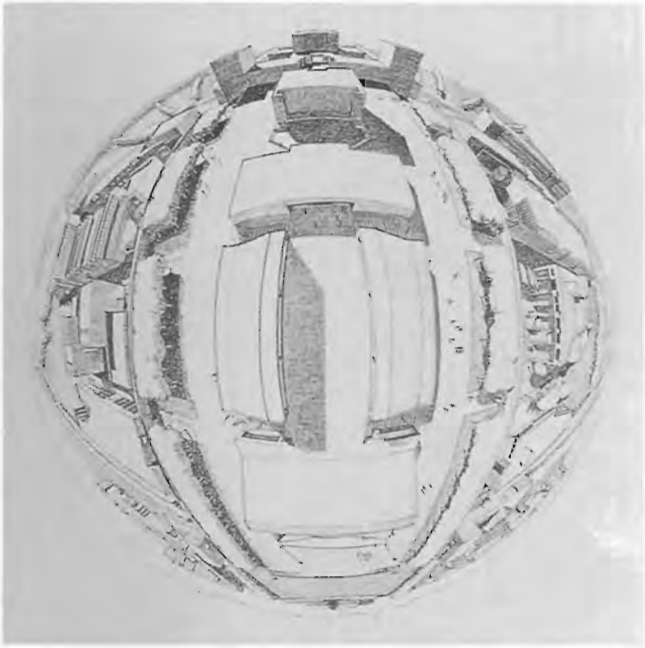
Si esto fuera cierto —lo cual no se discute aquí, simplemente se maneja como hipótesis—, también se podría imaginar que el ordenador serviría para eliminar tales barreras y para permitir al arquitecto, si lo desea, proyectar con toda libertad sus formas con la garantía de que siempre podrían ser representadas, y además en todos los sistemas de proyección (figura 33). «Debe señalarse ante todo que un instrumento capaz de generar con la misma rapidez y con idéntico esfuerzo por parte del operador tanto proyecciones paralelas como proyecciones centrales de objetos con cualquier grado de complejidad, apunta con toda evidencia hacia un más libre e inteligente control espacial y hacia una más verificada y consciente



32. La diferencia conceptual entre los diversos sistemas de proyección geométrica pierde parte de su sentido al usar el ordenador, pues con él se puede trabajar simultáneamente en diédrico, axonometría y perspectiva.



33. La ayuda del ordenador es fundamental para la representación de objetos arquitectónicos complejos. En la imagen, perspectiva del estadio de Bari (1987-1990), obra de Renzo Piano.



34. La perspectiva curvilínea resulta enormemente difícil de trazar a mano, pero la potencia de cálculo de los ordenadores puede contribuir a aumentar la frecuencia de su utilización. En la imagen, perspectiva *polióptica* de la Universidad de Nueva York, de E. Lee Kennedy (véase también la lámina XXI).

búsqueda de contenidos en la arquitectura» [De Rubertis, *Computer Graphics...*, p. 9].

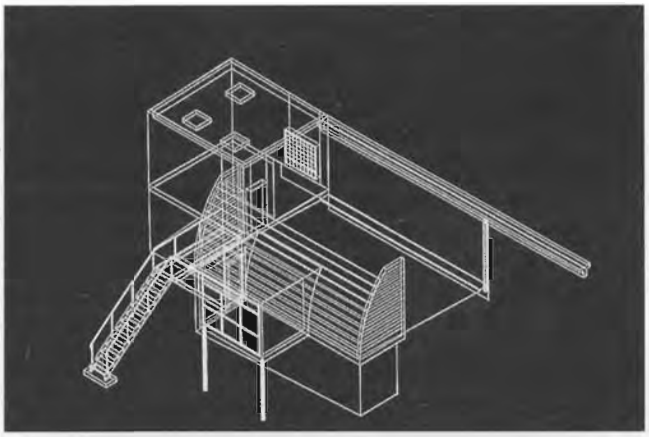
Otra posibilidad sería que a los sistemas de proyección tradicionales (ortogonal, central y paralelo) se añadiera algún otro que, también por su complejidad, siempre se haya utilizado con dificultad. Un ejemplo podría ser la perspectiva curvilínea, que —cuando se hace manualmente— consume un tiempo y un esfuerzo enormes para conseguir unos resultados bastante modestos. Su elaboración electrónica es una simple modificación de la perspectiva plana para que la proyección se realice sobre una superficie de doble curvatura. Lo que ocurre es que este tipo de proyección no es muy adecuada para una geometría fundamentalmente ortogonal como es la de la arquitectura. Pero, suponiendo que este sistema de proyección pudiera ser de alguna utilidad para la representación arquitectónica, el ordenador puede ser efectivamente la solución a su complejidad (figura 34 y lámina XXI).

Las variables infográficas

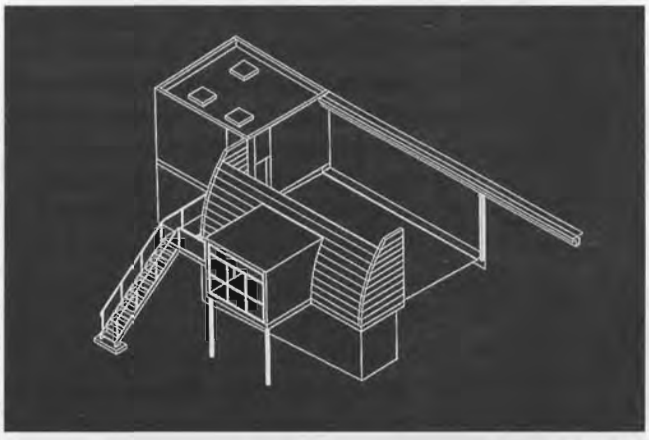
Las variables gráficas del dibujo de arquitectura tradicional son la figura, la textura, la luz y la sombra y el color. Todas ellas se pueden reproducir electrónicamente sobre una pantalla de ordenador, pero resulta más difícil reproducirlas sobre un papel a través de una impresora. En cualquier caso, aquí vamos a hablar de las variables en sí mismas, mientras que al hablar de la técnica gráfica mencionaremos el tema de su materialización física.

También con el ordenador, la variable imprescindible es la *figura;* y el modo habitual de representarla, la línea. En este aspecto, la informática permite hacer una amplia diferenciación de líneas, no solamente a través de su grosor —prácticamente la única dimensión que se considera en el dibujo tradicional—, sino también a través del color, una dimensión que en el dibujo tiene poca aplicación, pero que sobre una pantalla sí resulta efectiva. Esta diferenciación por el color permite además la inclusión o exclusión de determinadas familias de líneas en función de las necesidades de la representación. Por ejemplo, de un plano de proyecto de ejecución se pueden hacer desaparecer las líneas de acotación para tener un plano *limpio;* o, por el contrario, en una planta trazada sobre una retícula modulada, se puede decidir si incluir o no las líneas que la componen. Además del color, cuando se hacen dibujos con tres dimensiones (axonometrías o perspectivas), las líneas de la pantalla se pueden diferenciar por su mayor o menor *brillo,* lo que da más sensación de profundidad (*depth cueing* en inglés) a la imagen representada.

Por lo demás, el ordenador exige un enfoque lógico del dibujo a línea. Por ejemplo, las figuras complejas se han de introducir en



35. Los dibujos infográficos a línea se suelen llamar 'alámbricos' y son los que se utilizan habitualmente durante el proceso de diseño.



36. El ordenador sólo oculta las líneas no visibles cuando se le solicita. El equivalente de esta operación en el dibujo tradicional sería el de pasar a limpio un trazado, desechando las aristas que no se vean desde la posición del observador.

términos matemáticos o geométricos; se puede recurrir a la buena mano para trazar una curva complicada, pero inevitablemente hay que geometrizarla después. Como ya se ha dicho antes, el ratón es un malísimo sustituto del lápiz, sea blando o duro.

Estos dibujos a línea se suelen llamar, en la jerga informática, 'alámbricos' (*wireframe* en inglés) y, naturalmente, son los más rápidos para trabajar (figura 35). Dibujando en proyecciones ortogonales, lo normal es usar diferentes *capas* para cada tipo de información (trazado geométrico, modulación, muros, sanitarios, instalaciones, etcétera) de modo que se puedan superponer, añadiendo unas y eliminando otras para facilitar el diseño. Es como si, dibujando a la manera tradicional, se utilizaran varios papeles vegetales unos encima de otros.

Un curioso tema gráfico es el de las líneas ocultas. En el dibujo tradicional, cuando se traza una axonometría o una perspectiva, hay muchas líneas que resultan necesarias pero que no se *pasan a limpio* porque están ocultas por otros cuerpos. En el dibujo informático

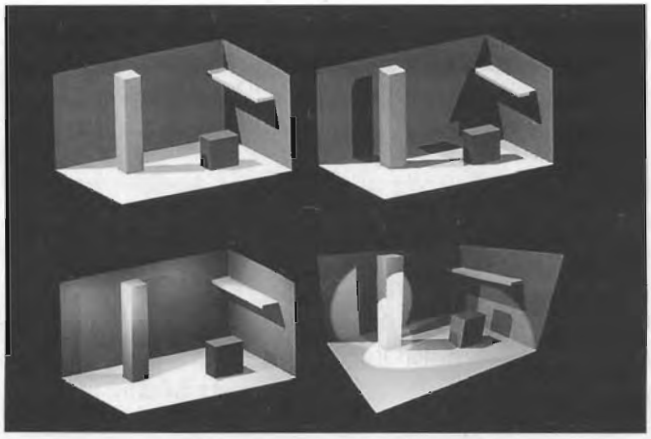
también se puede empezar con esos objetos *alámbricos* y posteriormente eliminar todas las líneas que no estén al alcance del ojo del observador; nos quedará así un volumen definido estrictamente por sus aristas y contornos (figura 36).

Un llamativo problema de los dibujos infográficos es el ya citado aspecto escalonado que presentan las diagonales (*aliasing* en inglés). Como ya adelantamos en el capítulo 3, esto se debe a la naturaleza digital de la imagen electrónica. Este efecto es prácticamente inevitable en los dibujos a línea, en los que sólo depende de la mayor o menor resolución de la pantalla, aunque muchos programas eliminan el problema a la hora de imprimir la imagen sobre el papel. En los dibujos más realistas, estos escalonamientos se eliminan mediante suaves degradados de claroscuro y color: la llamada técnica *antialiasing*.

Con respecto a la *textura,* mientras que en el dibujo tradicional esta variable depende sobre todo de la técnica gráfica y de los utensilios utilizados, en la imagen electrónica todo consiste en una proporción de blanco y negro (léase *pixels* encendidos y apagados) con una cierta distribución geométrica. Tiene, pues, dos dimensiones: densidad y trazado. Igualmente, mientras en el dibujo tradicional se realiza cada vez la textura deseada, en el ordenador generalmente se elige entre la oferta de un extenso catálogo tanto de densidades como de trazados geométricos: punteados, rayados, cuadriculados, etcétera, hasta llegar al relleno de 'negro'. Todo esto se refiere a la textura *convencional,* lo que podríamos llamar 'trama' gráfica, es decir, la que se usa simplemente para diferenciar zonas. El otro tipo de textura aplicada en los dibujos de arquitectura, el de carácter *imitativo* —que trata de reproducir fielmente acabados y materiales—, va íntimamente ligado a la variable del color, por lo que se tratará más adelante (véase el epígrafe 'Fotorrealismo' en este mismo capítulo).

Dada la naturaleza del sistema informático, las texturas convencionales nunca han planteado problema alguno, mientras que las de carácter imitativo dependen de complicados algoritmos matemáticos y de equipos con alta capacidad de cálculo y resolución gráfica. Tanto unas como otras se tratan informáticamente como *pieles* que se pueden extender sobre las superficies de los modelos infográficos: «El 'plato fuerte' de la reproducción del detalle superficial es el procedimiento de *texture-mapping* (aplicación de textura), gracias al cual una imagen elegida a placer puede ser *aplicada* sobre la superficie de un objeto. (...) Esta técnica mejora también la calidad de la imagen aportando indicios de perspectiva, en cuanto que el detalle de la textura se agranda en los objetos cercanos... y se reduce en los lejanos» [Jankel y Morton, *Creative Computer Graphics,* p. 47].

También en el cálculo y el trazado de *luces y sombras* el ordenador



37. Los programas de presentación ofrecen diversas posibilidades de iluminación. En la imagen, varias combinaciones, cada vez más complejas, de fuentes de luz ambientales, direccionales y posicionales.

aporta sensibles ventajas con respecto al dibujo tradicional. En la mayor parte de los casos, actualmente se pueden representar las sombras arrojadas sobre una imagen electrónica simplemente eligiendo la orden sobre la pantalla y mandándola ejecutar. En unos segundos el mismo dibujo que teníamos delante aparecerá en las condiciones de iluminación que nosotros mismos hayamos elegido (figura 37). «La iluminación del modelo, separada del modelo mismo y decidida sólo cuando la imagen ya está trazada, plantea también el problema de las sombras que se formarían en la realidad, y que por lo demás es relativamente simple porque puede resolverse del mismo modo que las líneas ocultas...» [Jankel y Morton, *Creative Computer Graphics*, p. 46.]

La sencillez lógica con la que se realiza esta tarea permite utilizar esta variable más a menudo de lo que se hace en el dibujo tradicional, e incluso también comprobar sistemáticamente la iluminación real que tendrá el edificio en los diversos momentos del día y en las distintas épocas del año. Esta facilidad puede llegar a anular la diferencia entre la utilización clásica de las sombras, como recurso para mejorar la percepción volumétrica del objeto —especialmente cuando se aplica a los alzados o a las plantas— y la búsqueda del realismo.

Las sombras, así pues, perderán parte de ese carácter eminentemente convencional que tienen en el dibujo; ya no se harán todas a 45 por la izquierda, sino que cada fachada tendrá sus sombras reales para unas condiciones dadas, y las orientadas al norte se podrán obtener también con su auténtica luz difusa. Las sombras siempre se han incluido en los alzados con objeto de darles un aspecto convencionalmente tridimensional; ahora, lo que se busca es el realismo, y esto hace que en algunas fachadas resulte *imposible* dibujar las sombras a 45. Lo mismo se puede decir de las representaciones en

axonometría y perspectiva. Sobre todo en estas últimas, la inclusión de las sombras reales contribuirá a aumentar la verosimilitud de unas imágenes ya de por sí bastante accesibles al profano (figura 38 y lámina XX).

El ordenador, sin embargo, trata el tema del claroscuro de un modo algo distinto al del dibujo tradicional. Para empezar, diferencia entre 'iluminación' y 'sombreado'. La iluminación tiene en cuenta las características de las superficies y las fuentes de luz. Para las primeras se utilizan dos modelos de reflexión: la difusa y la especular. La primera es la que producen los acabados mates, y su efecto es el mismo con independencia del punto de vista del observador; la segunda, en cambio, es la que se aprecia al observar una superficie brillante, y su efecto es distinto según la posición desde la que se mire. Las fuentes de luz, por su parte son de tres tipos: *ambiental* (un día nublado), *direccional* (un día soleado) y *posicional* (una bombilla). Uno de los algoritmos más famosos para la realización de estas operaciones es el de Phong [véase su artículo «Illumination of Computer Generated Pictures»]. El sombreado de superficies curvas se resolvía originalmente mediante facetas planas, un sistema escasamente utilizado en el dibujo tradicional, salvo para ejercicios analíticos de iluminación de objetos (como el cálculo y representación de líneas *isofotas).* Actualmente las facetas son una reliquia informática, y el algoritmo más famoso para la creación de sombreados continuos es el de Gouraud [véase su artículo «Continuous Shading of Curved Surfaces»].

Asimismo, el ordenador suele diferenciar también entre el 'sombreado' *(shading)* y las 'sombras' *(shadows).* Esta paradoja se entiende perfectamente si pensamos en lo primero como una forma de dar volumen a un objeto simplemente a base de diferenciar la iluminación de sus distintas caras (algo así como las sombras *propias* sin más), mientras que lo segundo sería el claroscuro más realista, a base de combinar esas mismas sombras *propias* con las *arrojadas* (figura 39). A todo ello hay que añadir efectos aún más realistas como los reflejos, las transparencias, las refracciones, etcétera (véase el epígrafe 'Fotorrealismo' en este capítulo). Todo ello se consigue actualmente gracias a dos sistemas: el 'seguimiento de rayos' *(ray tracing)* y la 'radiosidad' *(radiosity).* El primero, introducido por T. Whitted en 1980, se basa en un cálculo de los rayos de luz en sentido inverso, es decir, desde el punto de vista hacia el objeto (tal como propugnaban en la Antigüedad los filósofos griegos; los árabes, por el contrario, defendían que los rayos iban del objeto al ojo), y se usa cuando se quiere sacar el máximo provecho de los brillos, los reflejos y las transparencias. El segundo sistema, desarrollado en la universidad de Cornell en 1984, calcula en cambio las múltiples reflexiones de luz difusa entre las superficies del objeto, por lo que las

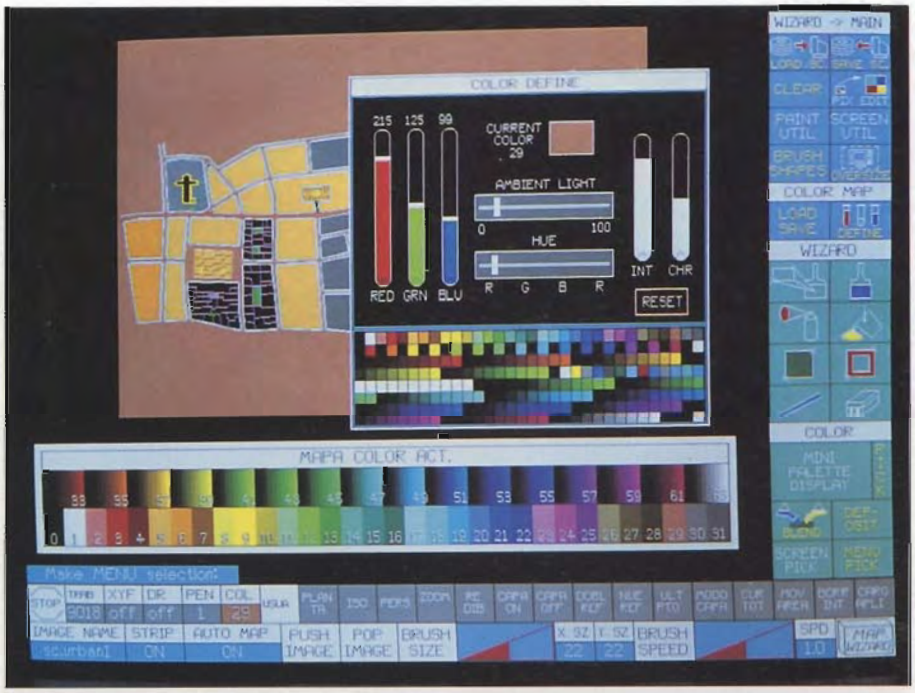


Lámina I.
Pantalla de definición de un 'mapa de color' para una imagen infográfica.

Lámina II.
Sistemas de combinación de colores: *a la izquierda,* el 'aditivo' de las pantallas; *a la derecha,* el 'sustractivo' de las impresoras.

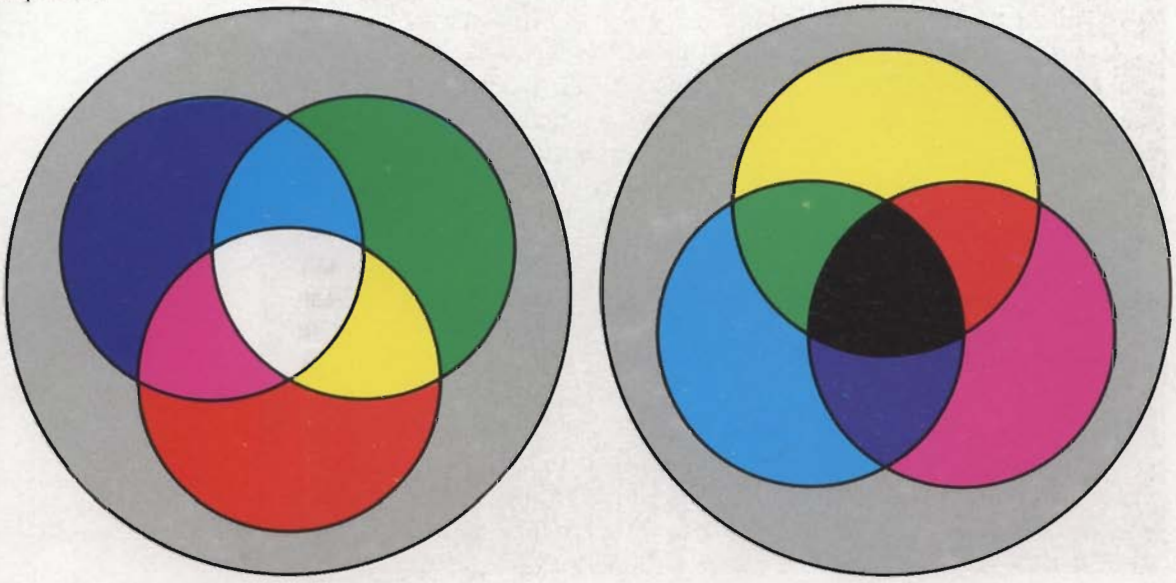


Lámina III.
Imagen infográfica del interior de la capilla de Ronchamp, de Le Corbusier (véase también la figura 23).

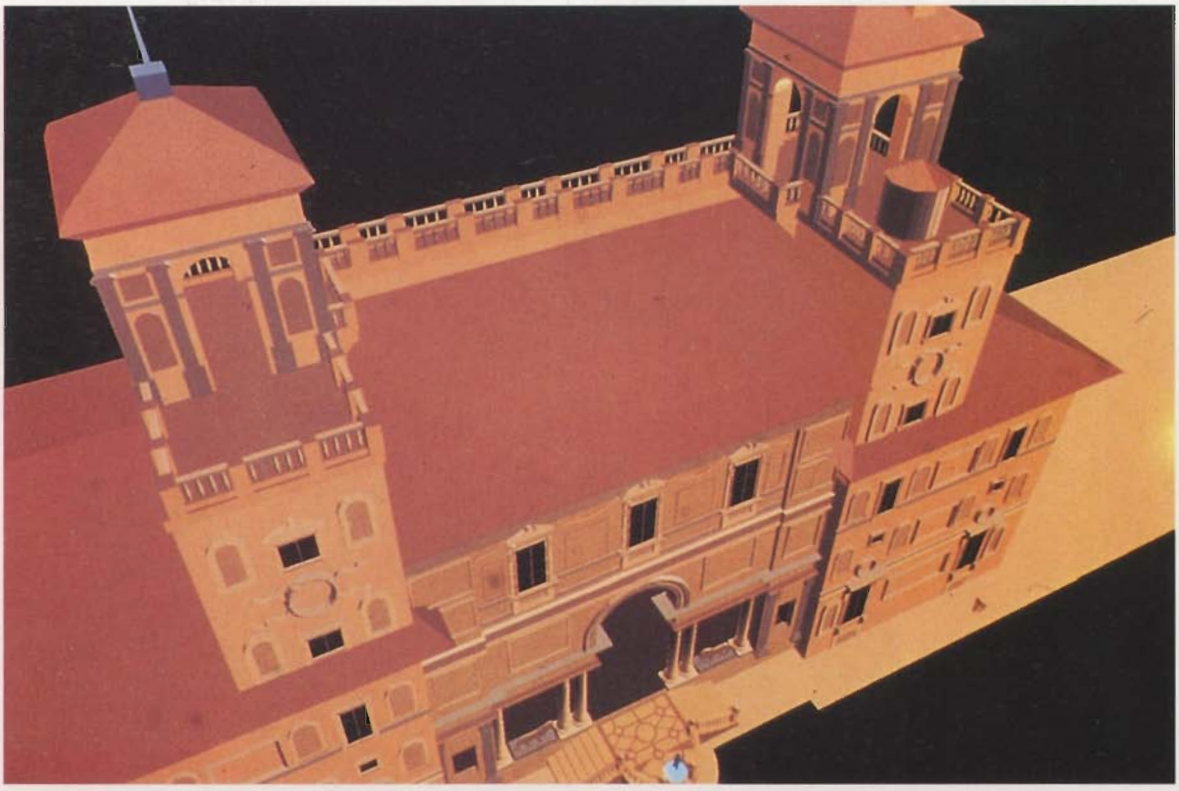
Lámina IV.
Copia en papel *(hardcopy)* de una imagen infográfica que representa una antigua iglesia bizantina en Éfeso, Turquía.

Lámina V.
Imagen elaborada con la técnica del *ray tracing* o 'seguimiento de rayos'.

Lámina VI.
Imagen elaborada con la técnica de la *radiosity* o 'radiosidad'.

Lámina VII.
Escalera del Teatro Elgin, Toronto. Imagen fotorrealista de una película infográfica de 35 mm.

Lámina VIII.
Perspectiva aérea de la Villa Medici, Roma. Imagen 'de síntesis' elaborada a partir de un levantamiento fotogramétrico (véase también la figura 29).



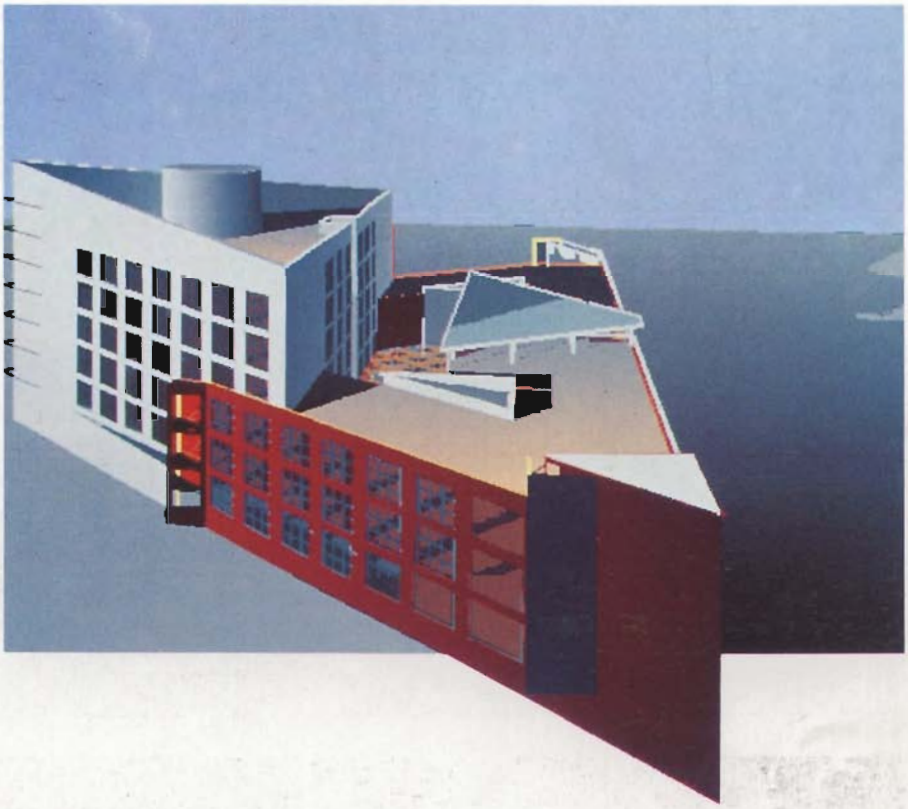


Lámina IX.
Francisco R. Partearroyo, proyecto para una residencia de la Universidad Carlos III, Getafe, 1991.

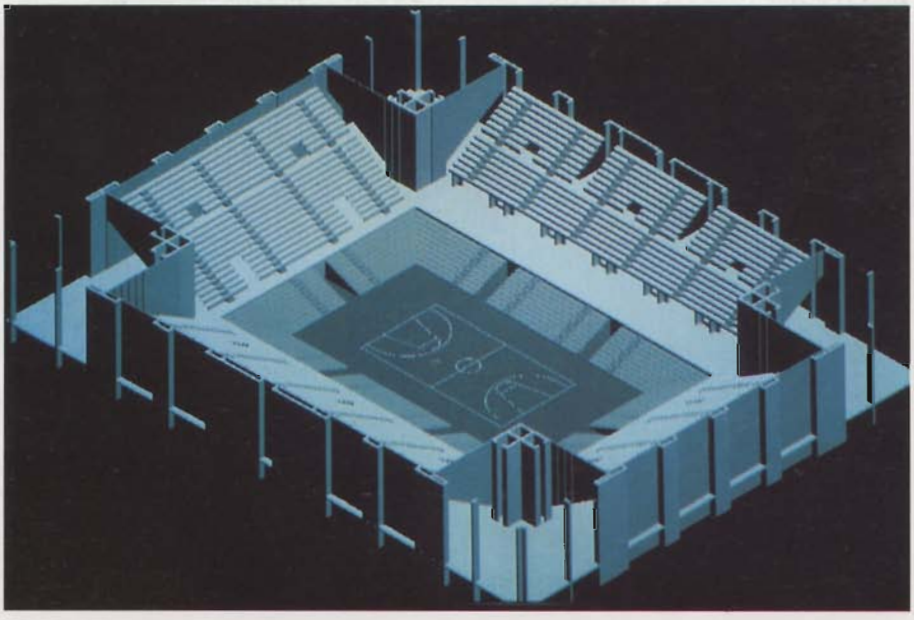
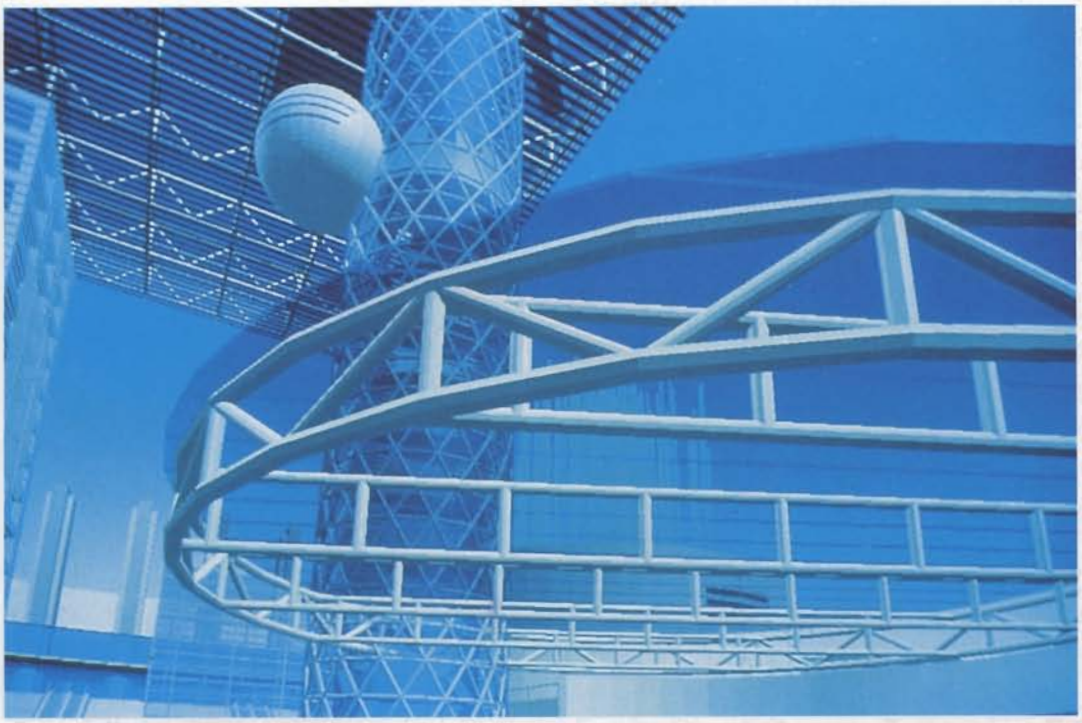
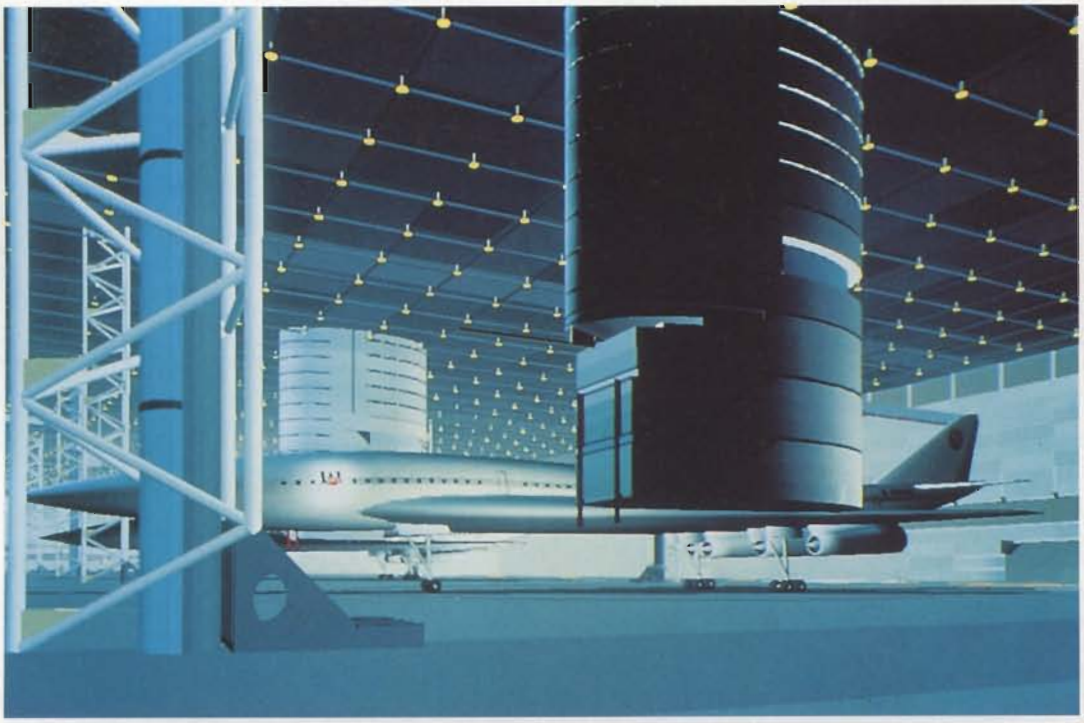


Lámina X.
Lluís Clotet e Ignacio Paricio, proyecto para el Palacio de Deportes de Granada, 1989-1992.





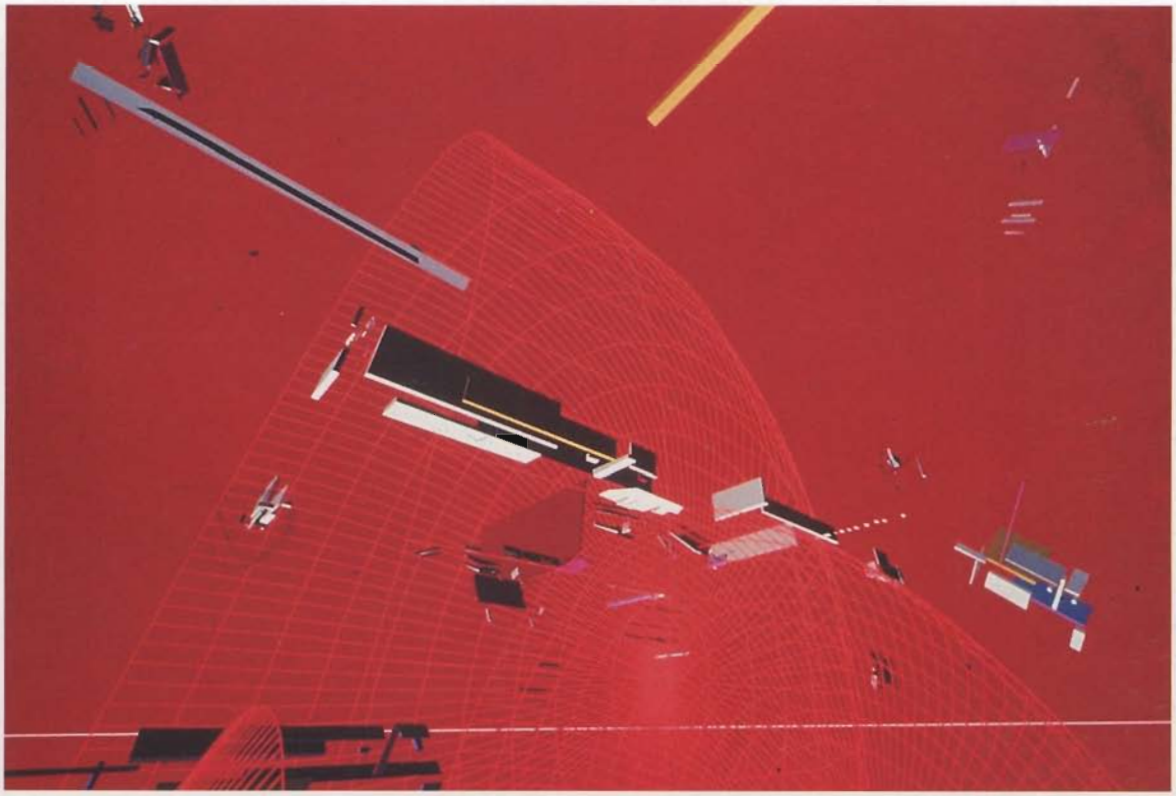


Lámina XIII.
Zaha Hadid, imagen ganadora del concurso patrocinado por Apple/Paracomp en 1990.

Láminas XI y XII.
Shin Takamatsu & Associates, proyectos para Dijon, 1991 *(arriba)*, y para Japan Air Lines, 1990 *(abajo)*.

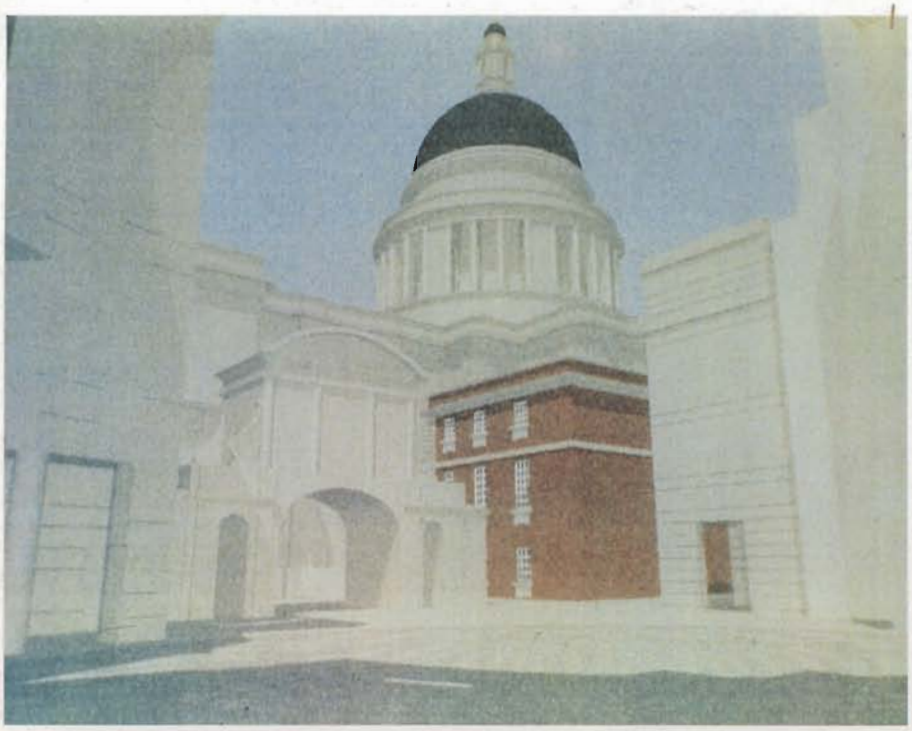


Lámina XIV.
Arup Asssociates, proyecto para Paternoster Square, junto a la catedral de San Pablo, Londres, 1990.

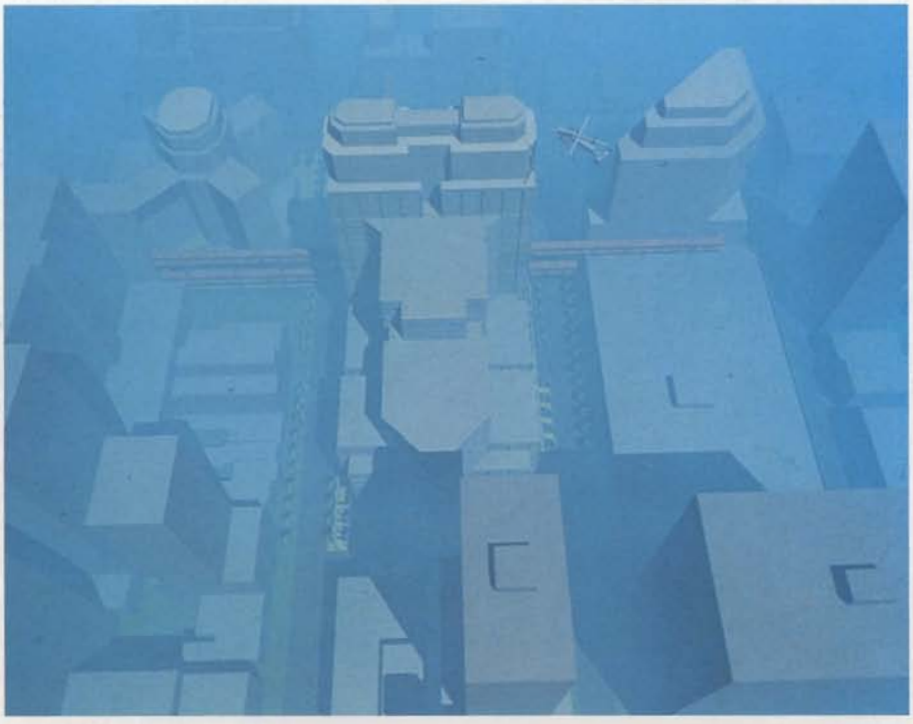


Lámina XV.
Skidmore, Owings & Merrill, proyecto para el Northwestern Memorial Hospital, Chicago, 1990.

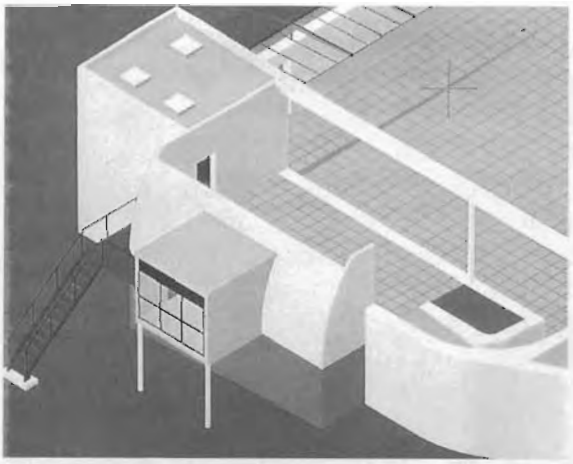
sombras quedan más suaves y matizadas (figura 40 y láminas V y VI). Mientras que las imágenes de *ray tracing* hay que calcularlas para cada punto de vista, las de *radiosity* se calculan una sola vez y se pueden visualizar desde distintos ángulos [véase Greenberg, «Computación y arquitectura»].

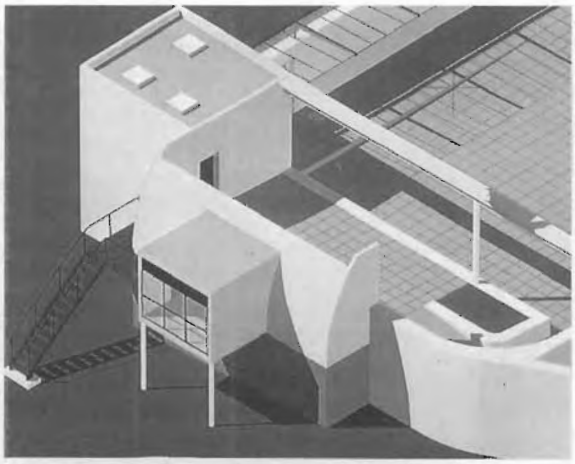
Al contrario que la fotografía, el cine o la televisión, los ordenadores no han tenido dos etapas claramente diferenciadas, una inicial en blanco y negro y otra posterior en color. En el caso de la informática gráfica, la variable cromática ha sido desde el principio un dato fundamental, y con el desarrollo de los sistemas de tratamiento de imágenes se ha convertido en un tema crucial. Desde el punto de vista infográfico, hemos de estudiar el uso del color tanto en las imágenes de la pantalla del ordenador como en las copias que producen las impresoras. Así pues, la capacidad cromática de un sistema depende fundamentalmente del *hardware* (véase el capítulo 2).

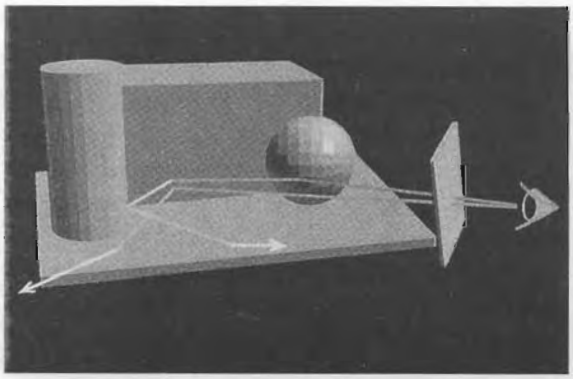
El color es una variable que el dibujo de arquitectura ha recuperado desde hace unos quince años, después de una época en la que prácticamente estaba proscrito. El ordenador contribuirá aún más al uso de esta variable, aunque de un modo un tanto particular. En efecto, hubo una época en que hasta los detalles constructivos (paradigma de los dibujos convencionales y monosémicos) se dibujaban a la acuarela. Por el contrario, después de la II Guerra Mundial, ni siquiera en las perspectivas más realistas se admitía el uso del color. En los últimos años, esta variable se está utilizando sobre todo en los dibujos de tipo compositivo o de presentación, dejando el llamado dibujo técnico (a línea de tinta sobre papel vegetal) para los dibujos descriptivos de proyecto y construcción.

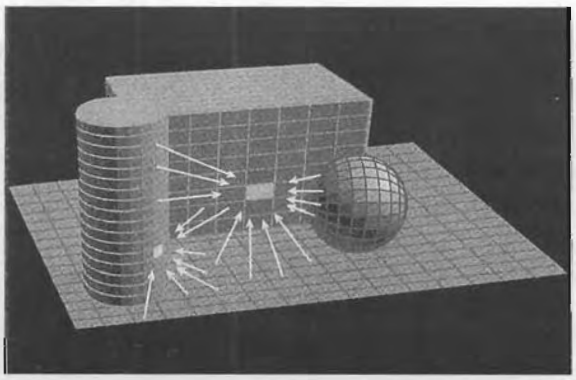
Naturalmente, la oferta de colores por parte del sistema informático está ya por encima de cualquier sistema tradicional. En estos momentos se pueden utilizar paletas de más de 16 millones de colores con la única limitación de la capacidad de resolución que permita el equipo. Todo ello —hemos de repetir— referido a la imagen electrónica visualizada sobre la pantalla. Estas imágenes se pueden obtener con gran fidelidad en forma de diapositivas, pero su reproducción por medios más o menos gráficos sobre un papel plantea por el momento serios problemas técnicos que sobrepasan con mucho el alcance de este libro (véanse los epígrafes 'Pantallas' e 'Impresoras en color' en el capítulo 2).

Pero lo más importante es que las pantallas y las impresoras utilizan modelos cromáticos no sólo distintos, sino incluso opuestos. En efecto, los colores de la pantalla se obtienen según un sistema *aditivo,* en el que los diversos rayos de luz se van *sumando.* De este modo —al igual que en los teatros y los circos—, la luz blanca se obtiene por adición de rayos de color *rojo, verde* y *azul* (sistema conocido por sus siglas en inglés: RGB). Este método es ajeno al









mundo del dibujo de arquitectura tradicional, que siempre se ha basado en la mezcla de tintas, es decir, en el sistema *sustractivo.* Éste es el método que se usa para las impresoras, y consiste en *restar* luz a partir de un papel blanco. De este modo, los colores primarios son ahora el *cian* (un azul más o menos celeste), el *magenta* (una especie de púrpura) y el *amarillo,* y su combinación, al ser sustractiva, produce el negro, esto es, la ausencia de luz (este sistema, con la adición del *negro,* se conoce en el mundo de la imprenta como 'cuatricromía' y también por sus siglas en inglés: CMYK). Así pues, el dibujante infográfico —si es que quiere dominar la imagen del proyecto sobre la pantalla— habrá de aprender a usar un método cromático con el que no está familiarizado. Además, deberá afrontar los problemas derivados de la *conversión* de los colores de un método a otro, es decir, asegurarse de que la imagen que sale por la impresora corresponde lo más exactamente posible a la que se ha diseñado en la pantalla (lámina II).

38. El realismo de las imágenes infográficas se acrecienta en la medida en que la iluminación elegida responda a situaciones verosímiles. En la imagen, un mismo ambiente con dos combinaciones de luz distintas.

El aumento de las posibilidades de utilización del color gracias al ordenador se produce tanto en la vertiente realista como en la convencional. Es decir, se pueden generar plantas, alzados, secciones, axonometrías y perspectivas en las que la imagen represente lo más fielmente posible una realidad (existente, en el caso de un levantamiento, o posible, en el caso de un proyecto). Pero también se puede utilizar la variable color como otro recurso convencional más del sistema gráfico (asignación de colores a zonas funcionales, elementos constructivos o componentes tecnológicos).

39. En el dibujo infográfico se diferencia entre 'sombreado' y 'sombras'. Lo primero corresponde únicamente a las sombras propias *(izquierda),* mientras que lo segundo incluye también las arrojadas *(derecha).*

Algunos sistemas de dibujo o diseño de arquitectura incorporan directamente herramientas para el tratamiento del color o bien permiten exportar las imágenes a programas de 'retoque'. Con estos programas se pueden modificar *a mano* imágenes ya creadas, a base de colores lisos, aplicados con diferentes formas de *pinceles* y otros utensilios muy efectistas, como una especie de aerógrafo.

Una nueva generación de programas trata incluso de imitar las técnicas clásicas de dibujo; éste es el caso de Painter, de Fractal Design, que puede imitar el dibujo con carboncillo, rotulador, cera, lápiz de color y óleo, sobre varios tipos de papel o lienzo. Otro programa de este tipo es AXA Watercolor, que —como indica su nombre— se especializa en el dibujo de acuarela. Ambos programas necesitan tableros digitalizadores especiales, capaces de reconocer la presión ejercida con la mano que sujeta el *estilo* o pluma, además de la posición señalada. Por último, Galley Effects, de Aldus, es capaz de aplicar a las imágenes de ordenador efectos de tipo fotográfico como virados de color, obtención de tonos sepias, sobreexposiciones, etcétera. En todos los casos, las posibilidades son casi infinitas, pero es difícil que traspasen la pantalla para llegar al papel, y mucho menos en tamaños grandes.

40. Fundamentos de las dos principales técnicas para el cálculo de la iluminación: el *ray tracing* o 'seguimiento de rayos' *(izquierda)* y la *radiosity* o 'radiosidad' *(derecha).*

Rotulación y acotación

El lenguaje natural se superpone muchas veces al dibujo de arquitectura tradicional para añadir cierto tipo de informaciones. En general, este lenguaje es de tipo alfanumérico y se concreta en la inclusión de títulos y leyendas, por una parte, y de medidas y proporciones, por otra.

Con respecto al primer caso, el ordenador simplemente facilita la labor de rotulación ofreciendo múltiples tipos, tamaños y estilos de letras. Además, permite situar los rótulos en cualquier punto del dibujo mediante el uso del ratón, y escribirlos de un modo tan sencillo como es usar un teclado semejante al de una máquina de escribir. De este modo, la rotulación dejará de ser una especialidad que se practicaba en la fase final del proyecto, y cuyo dominio exigía buenas dosis de habilidad y paciencia. Los aparatos de rotulación —los llamados *cangrejos,* y hasta los que incluyen un teclado que se adapta al tecnígrafo— tienen sus días contados.

Pero si el ordenador facilita la labor de rotulación, lo que hace con las cotas es nada menos que automatizarlas. Ya existen programas en los que el trabajo de insertar las dimensiones de los elementos representados en un plano es simplemente una función que se activa con una orden. Por si acaso algún componente no ha quedado definido a nuestra entera satisfacción, siempre se puede marcar la línea que queremos acotar, y automáticamente tendremos su medida. Ésta es otra de las grandes ventajas de trabajar con un aparato que exige la información exacta y exhaustiva del objeto que se está creando o modificando. El procesador, al utilizar no un conjunto de representaciones, sino el propio objeto codificado, dispone de todas las cotas desde el momento en que la información se introduce. La labor de plasmarlas sobre la imagen visualizada en la pantalla, y posteriormente sobre el papel, es por tanto una pura operación de hacer explícitos, mediante números, datos que estaban implícitos en la memoria del procesador.

No sólo se hace automáticamente la rotulación propiamente dicha de los números, sino que todas estas cifras se pueden utilizar para calcular superficies, volúmenes, coeficientes, etcétera, que también pueden incluirse como información adicional sobre los propios planos.

Nuevas técnicas

Sin duda alguna, la dimensión del dibujo de arquitectura que sufre un cambio radical al utilizar el ordenador es la de la técnica gráfica. Ésta se refiere a los procedimientos mediante los cuales se realiza, se fabrica o se produce un determinado documento gráfico. Si aplica-

mos esta definición al sistema informático, vemos a simple vista que todo ha cambiado profundamente.

Un producto mecanizado

En primer lugar, ya hemos mencionado el hecho de que, al utilizar el ordenador, la representación arquitectónica deja de ser una labor fundamentalmente artesanal para convertirse en un auténtico producto *fabricado* gracias a unas máquinas. En el dibujo tradicional el proceso consiste en hacer un solo original del que luego se obtienen todas las copias necesarias. Ese original —sea un dibujo o una matriz para hacer grabados— suele tener un valor excepcional, especialmente en los grandes ejemplos históricos. En el caso del ordenador, este *original* no es realmente una representación gráfica, sino una serie de informaciones sobre soporte magnético; y su facilidad de reproducción es tan grande que su carácter excepcional queda reducido al mínimo. A este original informático hay que aplicarle todas las normas preventivas de este sistema, es decir, creación de copias de seguridad, almacenamiento en lugares distintos y protegidos, etcétera. Así pues, tarde o temprano los planeros se convertirán en disqueteras.

Posteriormente, de dicho original se podrán obtener todas las representaciones, visuales o gráficas, que sean necesarias, descodificando la información que contiene a través de un programa que lo visualice en la pantalla o que lo reproduzca por la impresora. Y ya se está llegando a la normalización de dicha codificación, mediante los ya mencionados formatos gráficos de intercambio (DXF, IGES, etcétera), de modo que la información contenida en un disco puede ser *leída* independientemente del programa utilizado. Ésta es la garantía de que el trabajo de hoy podrá ser útil mañana.

Por tanto, al hablar de la técnica del dibujo por ordenador, hemos de hacer referencia, primero, a la imagen visual y, después, a su reproducción gráfica. En el dibujo tradicional hay que diferenciar entre soportes, materiales, instrumentos de trazo e instrumentos auxiliares. Si intentamos aplicar este esquema a la imagen electrónica pronto comprobamos que no encaja exactamente.

De la pantalla al papel

En primer lugar, el *soporte* de la imagen electrónica es la pantalla, compuesta por cientos de miles de *pixels* que pueden estar apagados o encendidos, y que pueden componer (en los casos más desarrollados actualmente) más de 16 millones de colores. Por tanto, elegir el monitor podría entenderse como elegir el papel, sólo que ahora la decisión es mucho más trascendental ya que no se usa una sola vez, sino durante una buena temporada, y además es toda una inversión.

No se puede hablar propiamente de *materiales* infográficos como de sustancias que se depositan sobre el soporte. Por seguir con el símil, estos materiales serían electrones que chocan contra la pantalla produciendo destellos de luz. Pero aquí acaba el paralelismo. Mientras que en el dibujo tradicional se puede cambiar de material fácilmente, y además éste es decisivo en el estilo que se quiere conseguir, cuando usamos un ordenador todas estas decisiones son fundamentalmente tecnológicas y se toman por anticipado, no para hacer cada uno de los dibujos, sino para toda una serie de años.

Algo semejante ocurre con los *instrumentos*. Si se denominan instrumentos *de trazo* a aquéllos con los que se define la imagen (el lápiz, el tiralíneas o el pincel), al utilizar el ordenador todo ello queda reducido al ratón, ya que hasta los tableros y lápices electrónicos están empezando a pasar a mejor vida. Y con el ratón ni siquiera se define analógicamente la imagen, sino que se dan una serie de órdenes lógicas (como «traza una línea vertical desde aquí hasta aquí» o «traza un círculo con centro aquí y un radio de esta dimensión»), de modo que el propio ratón sería también el único instrumento *auxiliar* de la representación, papel que en el dibujo tradicional cumplían utensilios como la regla, la escuadra y el compás.

Por su parte, en la reproducción gráfica de esta imagen a través de una impresora se ha de tener siempre presente el tipo de máquina utilizada. En el caso de los trazadores, el soporte es el mismo papel que podemos utilizar ahora para hacer los planos; el material es generalmente la tinta; los instrumentos de trazo, plumas tipo Rotring o rotuladores finos; y los instrumentos auxiliares, una serie de brazos dirigidos electrónicamente que, moviéndose por coordenadas cartesianas, consiguen reproducir cualquier trazado visualizado en la pantalla con bastante precisión. Ésta es la versión de la infografía que más próxima está al dibujo profesional tradicional.

Pero existen también los trazadores electrostáticos y las impresoras láser y de chorro de tinta. En estos casos podemos hablar de soportes y de materiales, pero no de instrumentos, ni de trazo ni auxiliares. En los primeros, por métodos semejantes a los de las fotocopias, sobre un papel más o menos normal se depositan unos polvos que producen una imagen semejante a la de la pantalla. Las segundas realizan una especie de fotografía directa de la pantalla, consiguiendo una calidad algo mayor (véanse los epígrafes correspondientes del capítulo 2). En ambos casos, además del problema de la relación calidad/precio, suele existir siempre una limitación en el tamaño del papel, con lo cual estas máquinas no permiten, por el momento, la imitación informática de las maravillosas láminas a todo color de la École des Beaux-Arts del siglo pasado. Aunque hay quien asegura que se conseguirá.

Dado el carácter excepcional que tienen los originales en el

dibujo tradicional, la mayor parte de los dibujos que conocemos son reproducciones de tales originales. Por tanto, el ordenador, como medio de reproducción de imágenes arquitectónicas, podría considerarse el último eslabón en la historia de estos métodos, que van desde la xilografía hasta la xerografía. La infografía sería, pues, la técnica moderna para hacer que los documentos gráficos de la arquitectura puedan estar al alcance del mayor número de personas posible, ya sea a través de los propios proyectos informatizados, como a través de libros e incluso de canales audiovisuales (fotografías, diapositivas, videorreportajes, etcétera).

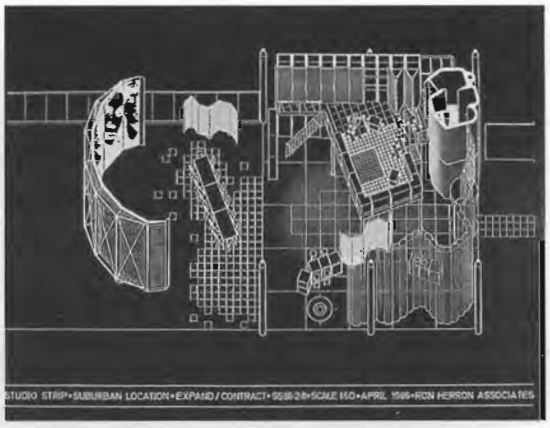
Avanzando en la comparación con las técnicas tradicionales, vemos que la técnica infográfica, en función del tipo de *mancha* que utiliza, es siempre *puntual* en el caso de la imagen visualizada en la pantalla. Cualquier representación está formada por combinaciones de luz y color en los miles de *pixels* del monitor. Así pues, al menos en sus fundamentos, se trata de una imagen conseguida a través de una suma integral de puntos. Por su parte, las reproducciones gráficas dependen —como ya hemos dicho— de la impresora utilizada. En el caso de los trazadores de plumas se usa una técnica lineal, mientras que con los electrostáticos y con las impresoras láser y de chorro de tinta la técnica parece completamente superficial.

Naturalmente, la diferenciación entre técnicas 'blandas' y 'duras', por un lado, y 'secas' y 'húmedas', por otro, carece de sentido cuando nos referimos a la infografía.

Un estilo 'asistido'

La expresión 'dibujo *asistido* por ordenador' sugiere a primera vista una clasificación del dibujo de arquitectura en función de este grado de asistencia. De este modo, tendríamos en primer lugar los dibujos *a mano alzada,* en los que se utiliza el mínimo número necesario de materiales e instrumentos; después estarían los dibujos más o menos *profesionales,* es decir, los realizados con ayuda de utensilios gráficos como la regla, la escuadra, el compás, etcétera; y finalmente vendría el mencionado dibujo *asistido por ordenador,* que sería el ejecutado con la mediación de aparatos electrónicos. El dibujo infográfico de arquitectura sería, pues, el que tiene un mayor grado de *asistencia* en su realización técnica.

En lo referente al estilo de los nuevos dibujos de arquitectura realizados con ayuda del ordenador, posiblemente sí se va a producir un cambio cualitativo. En el dibujo tradicional los aspectos formales y los técnicos están íntimamente relacionados, lo que lleva a considerar que su estilo gráfico atiende no sólo al modo de presentación, sino también al procedimiento seguido para su realización. El *sistema gráfico arquitectónico* se puede definir como una estructura compuesta por una serie de elementos (sistemas de proyección,



41. Ron Herron, miembro del desaparecido grupo británico Archigram: fotomontaje realizado en 1976 *(izquierda)*, y axonometría infográfica elaborada en 1986 *(derecha)*.

variables gráficas, etcétera) y una serie de relaciones que se establecen entre ellos. De este modo, un estilo gráfico arquitectónico, en el sentido tradicional, sería cada uno de los conjuntos que forman parte del sistema y en los cuales determinadas combinaciones se presentan más a menudo que otras. Así pues, si se puede hablar del estilo gráfico del Barroco del siglo XVII, también podremos hablar del nuevo estilo *infográfico* del siglo XXI.

Curiosamente, si con el ordenador aumentan indudablemente las posibilidades formales que el arquitecto tiene a su disposición para realizar sus imágenes gráficas, en el aspecto técnico se va a ver *limitado* por su elección del equipo informático que vaya a utilizar. «Es evidente que, en la construcción de imágenes con el ordenador, las preferencias estilísticas y la estructura del *software* son inescindibles. Y por ello escribir programas gráficos es también un nuevo modo de expresión» [Polistina, «Computergraphica e rappresentazione...», p. 94].

En efecto, ahora el arquitecto va a poder realizar imágenes en todos los sistemas de representación sin ningún esfuerzo adicional; va a poder elegir sus variables gráficas entre un catálogo prácticamente infinito de efectos, texturas, colores y sombras; y va a poder incluir en ellos todo tipo de rótulos y medidas con suma facilidad. Tiene ante sí innumerables posibilidades para definir el estilo de sus imágenes y representaciones arquitectónicas. Sin embargo, el hecho de que todas ellas se deban escoger entre un catálogo dado podría hacer que se perdiera ese *toque* personal que da la mano del dibujante. Si a esto añadimos la citada componente convencional que tienen las imágenes electrónicas, el resultado podría ser que los dibujos de arquitectura por ordenador tenderían a parecerse mucho entre sí; al menos, más de lo que se pueden parecer un dibujo de Bernini y otro de Borromini. Sin embargo, ya hemos adelantado que esta previsión no se está cumpliendo y que muchos arquitectos

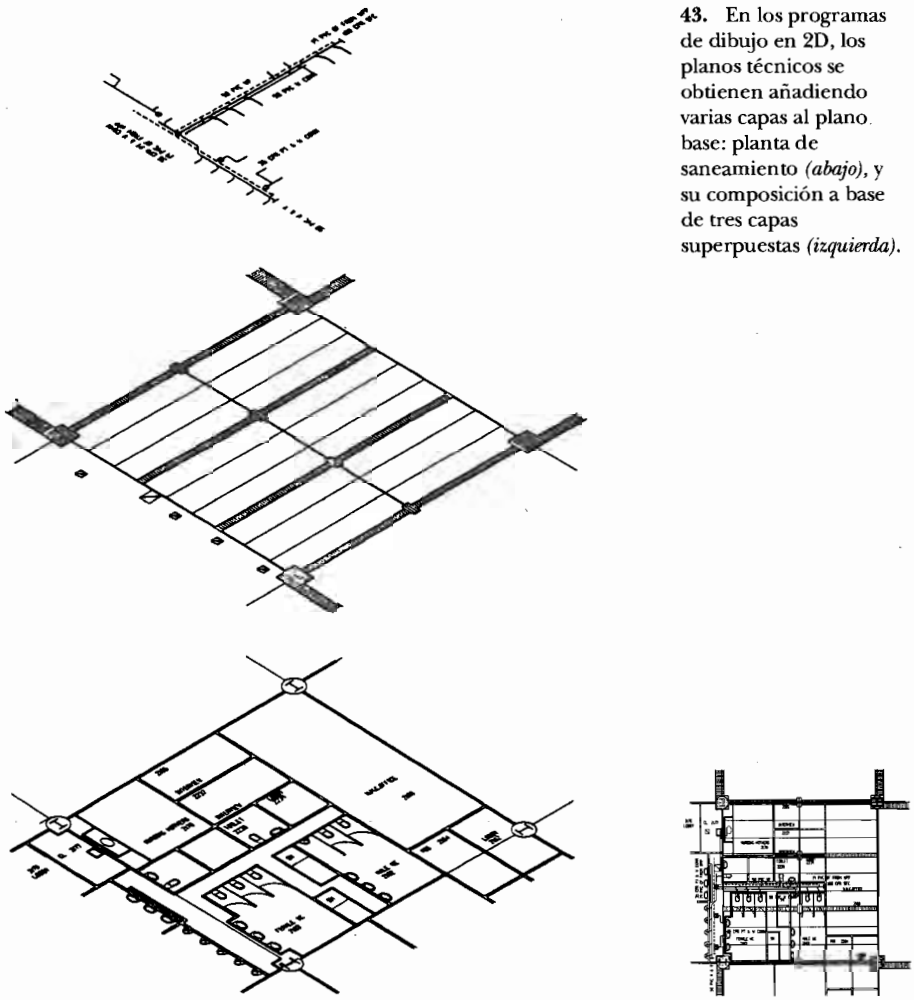
42. Zaha Hadid: una de las plantas para el concurso The Peak en Hong Kong, 1982 *(izquierda)*, y perspectiva del proyecto para el Taller Internacional Vitra en Weil-am-Rhein, 1991 *(derecha)*.

con un estilo gráfico propio lo siguen manteniendo también cuando utilizan el ordenador (figuras 41 y 42).

Como decíamos, no es que las posibilidades técnicas vayan a disminuir, sino que van a estar en estrecha relación con el equipo utilizado. De este modo, una vez decidido qué tipos de pantalla, impresora y programa se van a usar, los resultados no podrán ir más allá de ciertos límites. Para cambiar o superar éstos, será necesario sustituir parte del equipo por otro que ofrezca resultados diferentes. También cabe pensar que el arquitecto puede decidir no ser absolutamente autónomo en cuanto a la producción gráfica de sus proyectos. Y al igual que parte de ese trabajo se hace hoy en establecimientos públicos —como tiendas de copias o laboratorios fotográficos—, el resultado gráfico de los proyectos informatizados también podrá hacerse fuera del estudio profesional. Así, el diseñador elegirá la parte del equipo que necesita para la fase creativa del proyecto, y luego encargará la realización gráfica a una empresa especializada que podrá, a su vez, ofrecer más servicios a otras entidades.

Presentación y representación

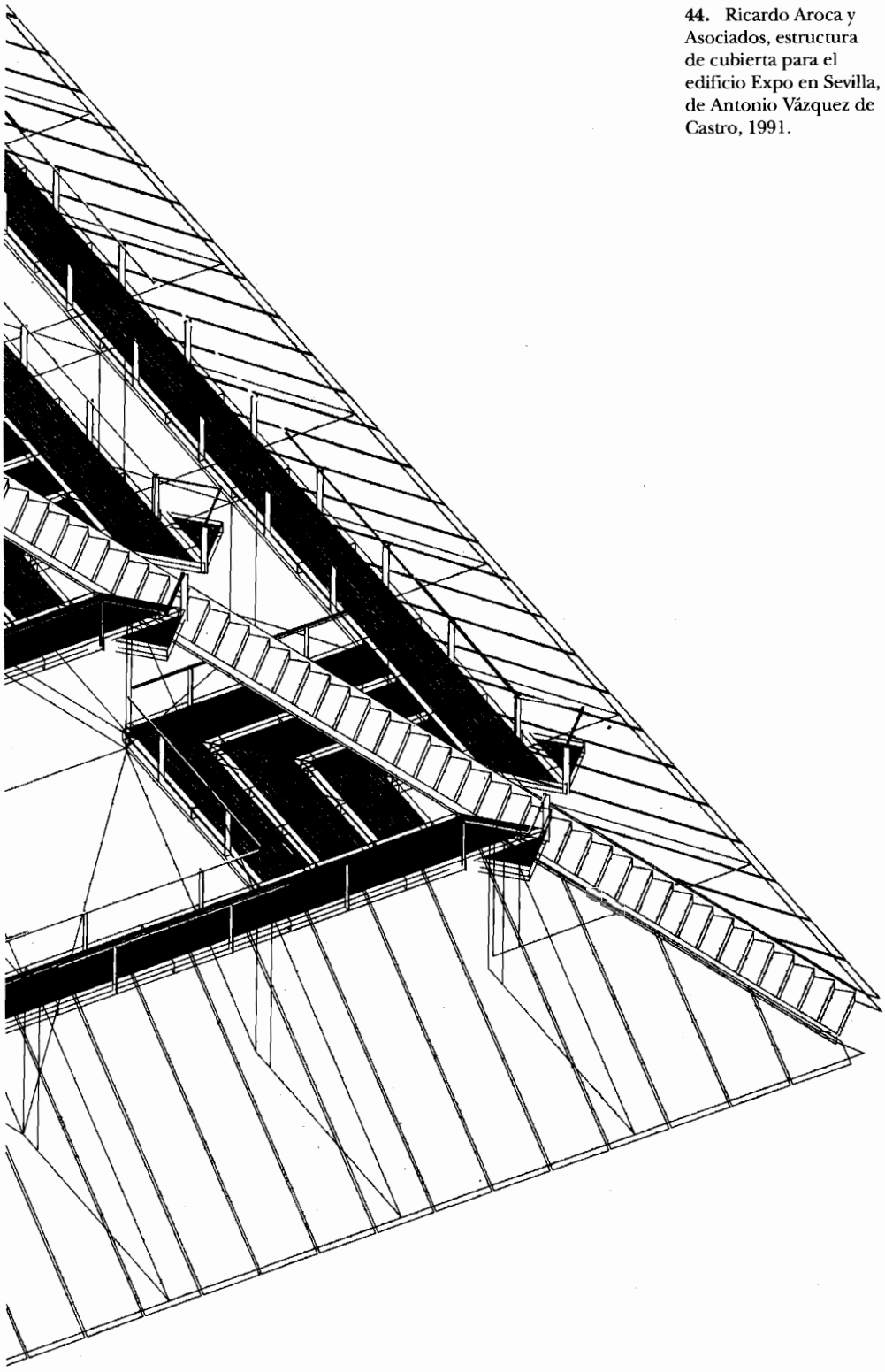
Tradicionalmente, el arquitecto era un profesional que producía planos técnicos para la construcción de sus proyectos y que, en todo caso, convencía a sus clientes con unas perspectivas a color realizadas por algún habilidoso dibujante. Pero ahora el arquitecto se encuentra ante una nueva serie de posibilidades para transmitir a los demás sus ideas y sus proyectos. El papel que habitualmente desempeñaba el dibujo como lenguaje *intermedio*, a mitad de camino entre la lengua (el más general) y la arquitectura (el más específico), está ahora en manos de sistemas audiovisuales que cada vez integran más recursos de comunicación, tendiendo a lo que se de-



43. En los programas de dibujo en 2D, los planos técnicos se obtienen añadiendo varias capas al plano base: planta de saneamiento *(abajo)*, y su composición a base de tres capas superpuestas *(izquierda)*.

nominan presentaciones 'multimedia'. De todos modos, mientras los sistemas de diseño asistido no se extiendan a todos los campos de la edificación (especialmente a la oficina a pie de obra), los arquitectos deberán seguir presentando sus proyectos de un modo bastante semejante al actual.

Por ejemplo, los documentos tradicionales que definen gráficamente un proyecto, los planos, no han sufrido grandes transformaciones con la llegada del CAD. Las ventajas de su informatización es que están guardados por *capas* en la memoria, de modo que con una única plantilla se pueden obtener los diferentes planos técnicos (figura 43). Debido a su tamaño, raras veces inferior al DIN A1, se han de dibujar mediante trazadores de plumas o electrostáticos y, más recientemente, de chorro de tinta. Los detalles y todo tipo de esquemas para los que no sea imprescindible un tamaño grande se



44. Ricardo Aroca y Asociados, estructura de cubierta para el edificio Expo en Sevilla, de Antonio Vázquez de Castro, 1991.

pueden obtener también con una impresora gráfica convencional. Pese a que algunos programas permiten *personalizar* en parte el grafismo utilizado, la realidad es que este tipo de dibujos cada vez son más convencionales en su representación, lo que va en beneficio de su comprensión como documentos *monosémicos,* es decir, con un contenido informativo inequívoco.

Además de planos, se pueden generar también dibujos en tres dimensiones a línea, los ya mencionados modelos 'alámbricos', en los que es posible eliminar las aristas no visibles desde la posición del observador, creando una imagen sin líneas ocultas. Este tipo de dibujo —en el que no hay todavía masas de color— es fundamental para los proyectos arquitectónicos, ya que es el único tipo de perspectiva que se puede reproducir en un trazador o en una impresora, es decir, el único dibujo en tres dimensiones que el ordenador puede plasmar en un papel vegetal (figura 44). Es sorprendente que la generación de estas perspectivas sea tan deficiente y tan lenta en la mayoría de los programas actuales, que parecen más especializados en la creación de imágenes en color: más espectaculares, pero también mucho más difíciles de reproducir.

Aparte de estos intentos de imitar la producción de dibujos tradicionales a línea, lo que sí se está viendo afectado ya por las posibilidades gráficas y comunicativas de los ordenadores es el modo de *presentar* los proyectos. Sus efectos más llamativos son la imagen fotorrealista, la visualización interactiva, la animación, los sistemas multimedia y la estereolitografía.

Fotorrealismo

Como ya se ha dicho, algunas imágenes generadas por ordenador son difícilmente distinguibles de una fotografía. A diferencia de éstas, las imágenes infográficas representan edificios o espacios que todavía no existen, y se crean a partir de modelos que residen sólo en la mente-memoria de la máquina.

El ordenador genera las imágenes utilizando los métodos de la geometría para la construcción en perspectiva y las leyes de la física para la representación del color y la luz. La geometría es la misma geometría descriptiva que aplica un dibujante a mano: puntos de fuga, plano del cuadro, etcétera. La física es un poco más complicada. El dibujante o perspectivista conoce unas reglas básicas del comportamiento de las luces y los colores, pero no necesita usar fórmulas matemáticas. El ordenador sigue un camino algo más complicado.

El grado de realismo de una imagen depende de la complejidad del modelo físico utilizado por el programa. Esta complejidad, junto con la potencia del ordenador utilizado, determina el tiempo que hace falta para calcular la imagen.

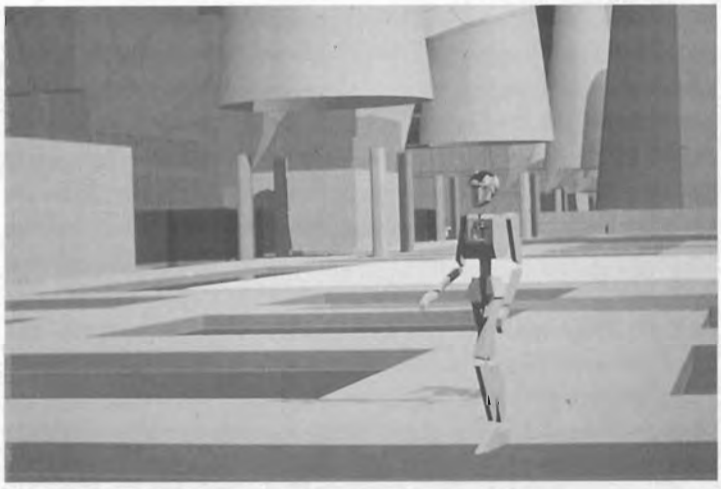
El proceso de obtener perspectivas en color se denomina —como ya hemos visto— *rendering*, que podría entenderse como el 'opacado' o el 'coloreado' del dibujo, pero que en realidad es todo un 'tratamiento' infográfico de la imagen. El método más habitual es el 'algoritmo del pintor'. El programa calcula la distancia de cada una de las superficies del objeto al observador, y las va dibujando en pantalla desde atrás hacia delante. El resultado final muestra sólo las superficies que son visibles desde tal punto de vista. Cada superficie recibe un color mediante un sistema cuya complejidad determina la calidad de la imagen.

Este color suele partir de un tono básico asignado por el proyectista, que representa más o menos el material y que el programa modifica según la orientación de la superficie respecto de los focos de luz. Esto es lo que hemos denominado 'sombreado' plano *(shading)*. Las facetas que forman las figuras curvas se suavizan con algoritmos como el citado de Gouraud.

Cada nueva versión de un programa añade técnicas nuevas y más potentes a este mecanismo básico; por ejemplo, el 'degradado', según el cual un mismo plano tiene diferente matiz en función de la distancia al observador. A esto se añade el cálculo de sombras propias y arrojadas, con una o más fuentes de luz (ambientales, direccionales y/o posicionales), e incluso con curvas fotométricas y temperatura de color, todo ello programable. Pueden aplicarse asimismo texturas a cada material, de modo que disponga así de una representación más perfecta que la del color liso, incluyendo vetas, brillo, reflectancia, etcétera. De esta manera se consiguen calidades de mármol, madera o plástico, e incluso se diferencia entre materiales muy parecidos, como los metales.

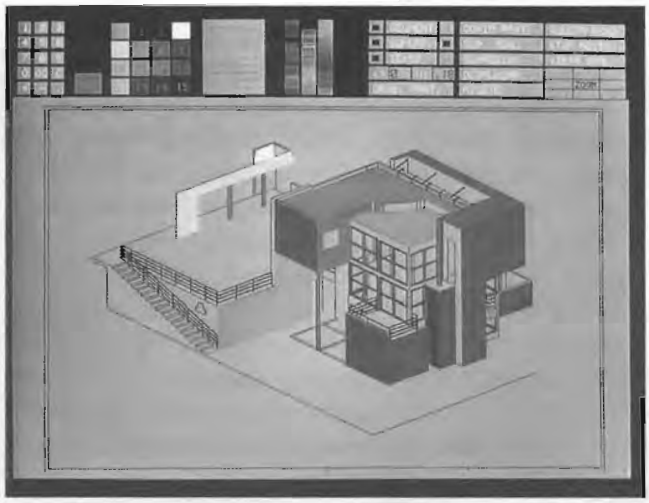
Como ya hemos visto, los sistemas más avanzados para conseguir estos efectos son el 'seguimiento de rayos' y la 'radiosidad' (véase el epígrafe 'Variables infográficas' en este mismo capítulo). El primero produce imágenes muy espectaculares, aunque resultan ligeramente *duras* y artificiales. Se reconocen porque habitualmente contienen esferas metálicas, cristales y espejos. En realidad, resultan poco apropiadas para la arquitectura, aunque quizá sean insustituibles en el diseño de objetos por su limpieza y su precisión (láminas V y XXI). No obstante, el mayor grado de realismo se alcanza actualmente con el método de la radiosidad. Dado el enorme tiempo de cálculo, solo se puede conseguir usando ordenadores especialmente preparados mediante placas o subsistemas llamados 'aceleradores gráficos', como la serie VPRX de Hewlett-Packard o la serie Vision de Silicon Graphics. La radiosidad es posiblemente el método que más se adapta a la representación de la arquitectura, en especial la del espacio interior, debido al realismo de los juegos de luces y sombras y a la suavidad de las texturas (láminas III y VI).

45. La vegetación de aspecto *natural* es fundamental para conseguir imágenes fotorrealistas. Estas formas suelen generarse matemáticamente a base de fractales.



46. Las figuras humanas son uno de los temas pendientes del dibujo infográfico. En la imagen, una especie de robot, paseando por la Expo de Sevilla.

47. Los fondos celestes pueden conseguirse mediante generadores de efectos atmosféricos o con fotografías digitalizadas. En la imagen, el ayuntamiento de Filadelfia se recorta contra un tormentoso cielo.



48. *Izquierda:* Le Corbusier, Villa Saboya, modelo infográfico elaborado con AES, el programa desarrollado por Skidmore, Owings & Merrill para IBM. *Derecha:* Richard Meier, casa Giovanitti, modelo elaborado con CadStar Clásico.

El resultado es prácticamente imposible de diferenciar de una fotografía, por lo que este conjunto de efectos se conoce como 'fotorrealismo'.

Para integrar el entorno y el paisaje se suelen utilizar también otros recursos, como *generadores* de vegetación, figuras humanas y otras formas naturales normalmente basadas en fractales [véase Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature]* y hasta condiciones atmosféricas programables, como la niebla o la bruma (figuras 45-47).

Alguien podría pensar que estos nuevos recursos ponen al alcance de cualquiera la capacidad de producir imágenes espectaculares a partir de proyectos mediocres, y además realizarlas sin tener ninguna habilidad para dibujar. Lo primero podría ser cierto (también lo consigue un buen perspectivista); lo segundo es más difícil, porque controlar todas las variables de iluminación y color de un sistema de *rendering* requiere casi tanta práctica y conocimientos como los que hacen falta para dibujar a mano.

Pero, aun así, la acuarela y el aerógrafo realizados a mano pueden tener sus días contados como técnicas de presentación de los proyectos de arquitectura.

Visualización interactiva

En algunos ordenadores especialmente adaptados al trabajo con gráficos es posible obtener imágenes a una velocidad cercana a la necesaria para la simulación del movimiento: del orden de una imagen cada dos o tres segundos, por ejemplo. De este modo, podemos visualizar el proyecto simplemente sentándonos al teclado y haciendo que el punto de vista se desplace a lo largo de los tres ejes del espacio. Esta posibilidad —en la que la respuesta del sistema es

continua y prácticamente inmediata a la petición del operador— se llama 'visualización interactiva'. Una vez acostumbrado a manejar los controles de estos desplazamientos —generalmente mediante un tablero con varios rotores—, el usuario puede adentrarse en el modelo, elegir cualquier punto de vista y cualquier dirección, y posiblemente modificar la iluminación y otros detalles sobre la marcha.

Uno de los campos de aplicación con más posibilidades para esta técnica es el de la enseñanza. Los edificios, ciudades o proyectos más interesantes podrán ser transformados en modelos infográficos, de forma que los alumnos puedan visualizarlos, *recorrerlos* y analizarlos, solicitando informaciones complementarias, como planos o fotografías, y pudiendo, además, modificar o desensamblar el modelo como parte del proceso docente. Aunque la multiplicidad de formatos de intercambio es un obstáculo, ya circulan varios modelos infográficos de algunas de las casas más interesantes de Frank Lloyd Wright, Le Corbusier, Gerrit Rietveld o Mario Botta (figura 48).

Animación

Si la visualización interactiva nos permite movernos a nuestras anchas dentro o fuera de un proyecto, la animación pretende integrar la cuarta dimensión en la representación de la arquitectura. La intención es aproximarla todo lo posible a la experiencia directa, si bien siempre a través de la ventana de la pantalla. Como ya se ha adelantado, la animación consiste simplemente en enlazar una serie de imágenes que van variando, de modo que al verlas seguidas se produzca el movimiento: algo así como el cine, pero en CAD. El resultado puede visualizarse directamente en el ordenador, pero cada vez es más frecuente transformar las imágenes infográficas en vídeo para poder verlas en cualquier pantalla de televisión. Éste es el sistema más utilizado en la publicidad de los programas de visualización (figura 49).

La animación de los modelos infográficos de arquitectura puede hacerse también en dos y tres dimensiones. «La animación 2D sirve para hacer esquemas de circulación, zonificación o proceso constructivo, mientras que la 3D produce aproximaciones visuales al resultado final del edificio, recorridos interiores y exteriores y comprobación del impacto ambiental si introducimos conjuntamente el proyecto y la imagen real» [Partearroyo, «Cad en el Mac...», p. 77].

El mayor problema de la animación, en especial en 3D, es el elevadísimo volumen de cálculo que ha de realizar el ordenador. Por ello, antes de iniciar un recorrido *animado* a través de un modelo infográfico, conviene hacer algunas simplificaciones para facilitar la labor. Por ejemplo, si se ha de representar una escalera, una buena técnica consiste en eliminar uno de cada dos escalones. Si el cálculo de sombras es lento, se puede prescindir de él, asignando a

Lámina XVI.
Ieoh Ming Pei,
Pirámide del Museo del
Louvre, París, 1989.

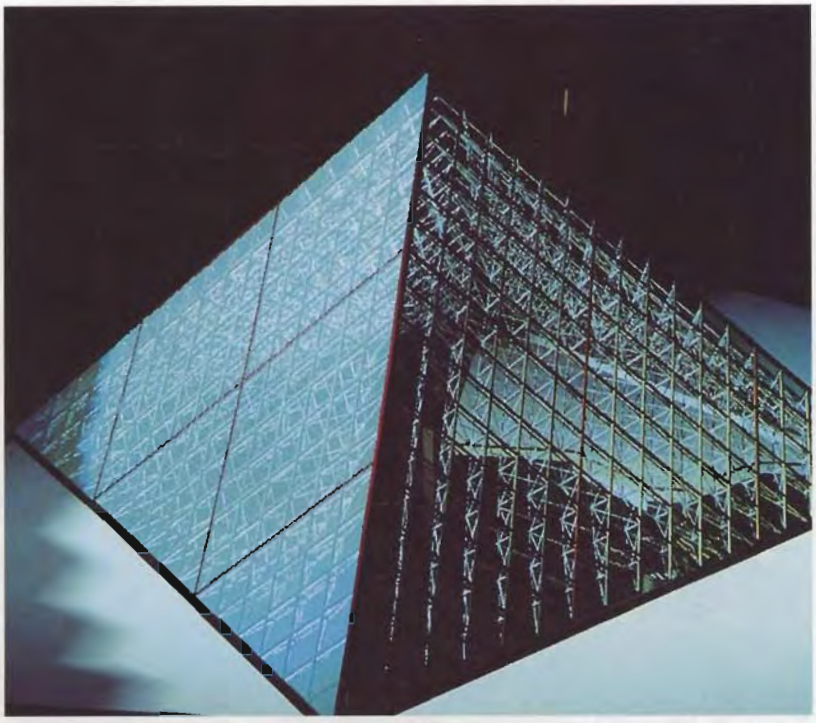
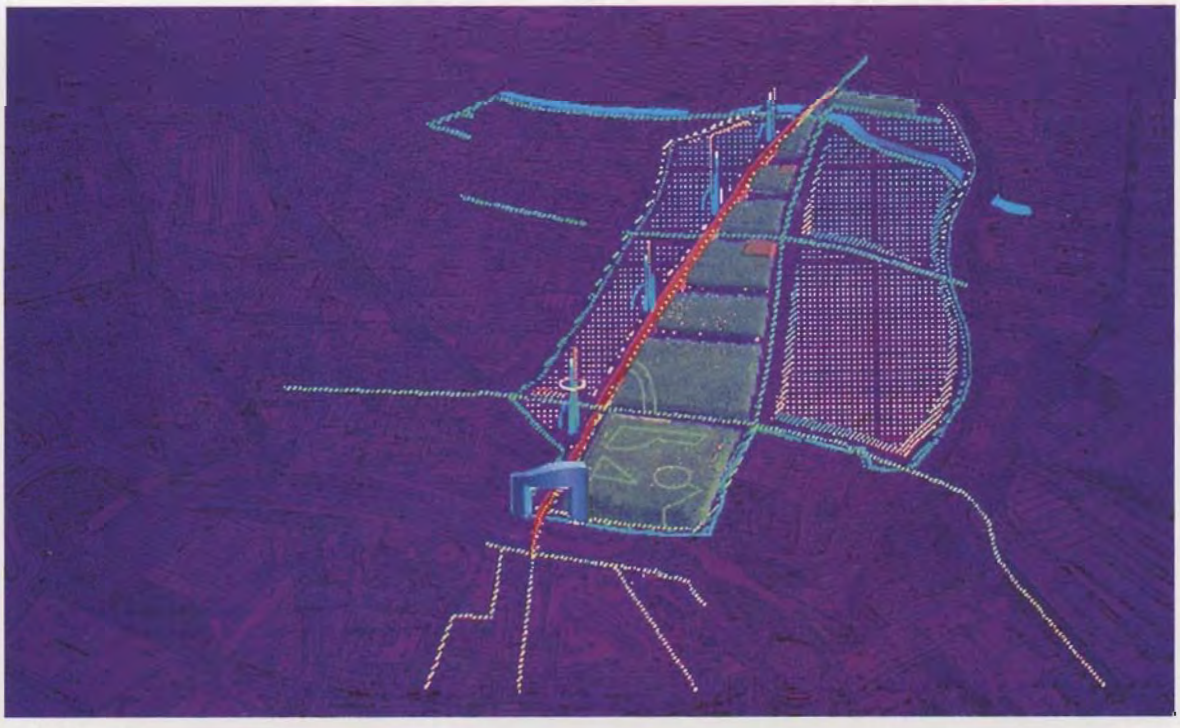
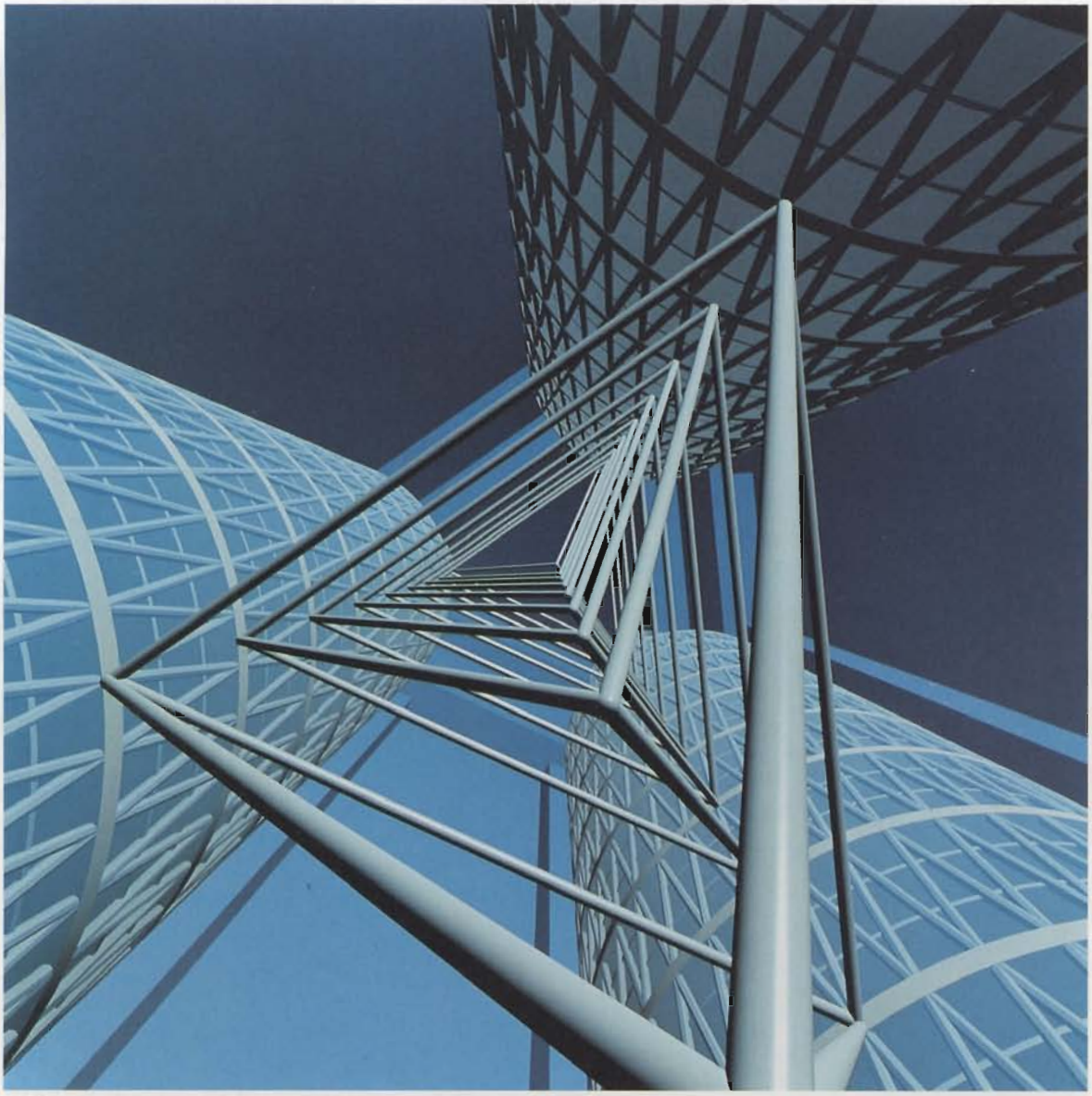
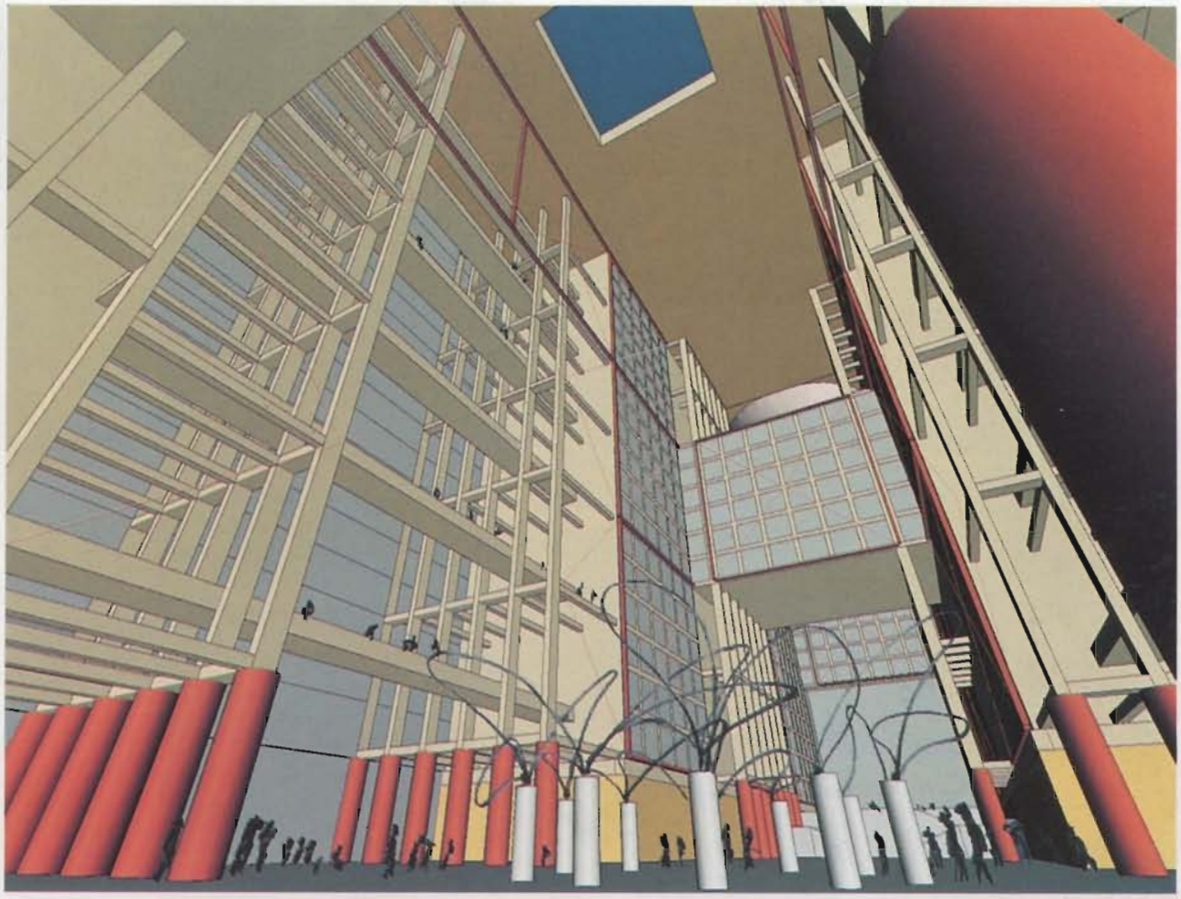


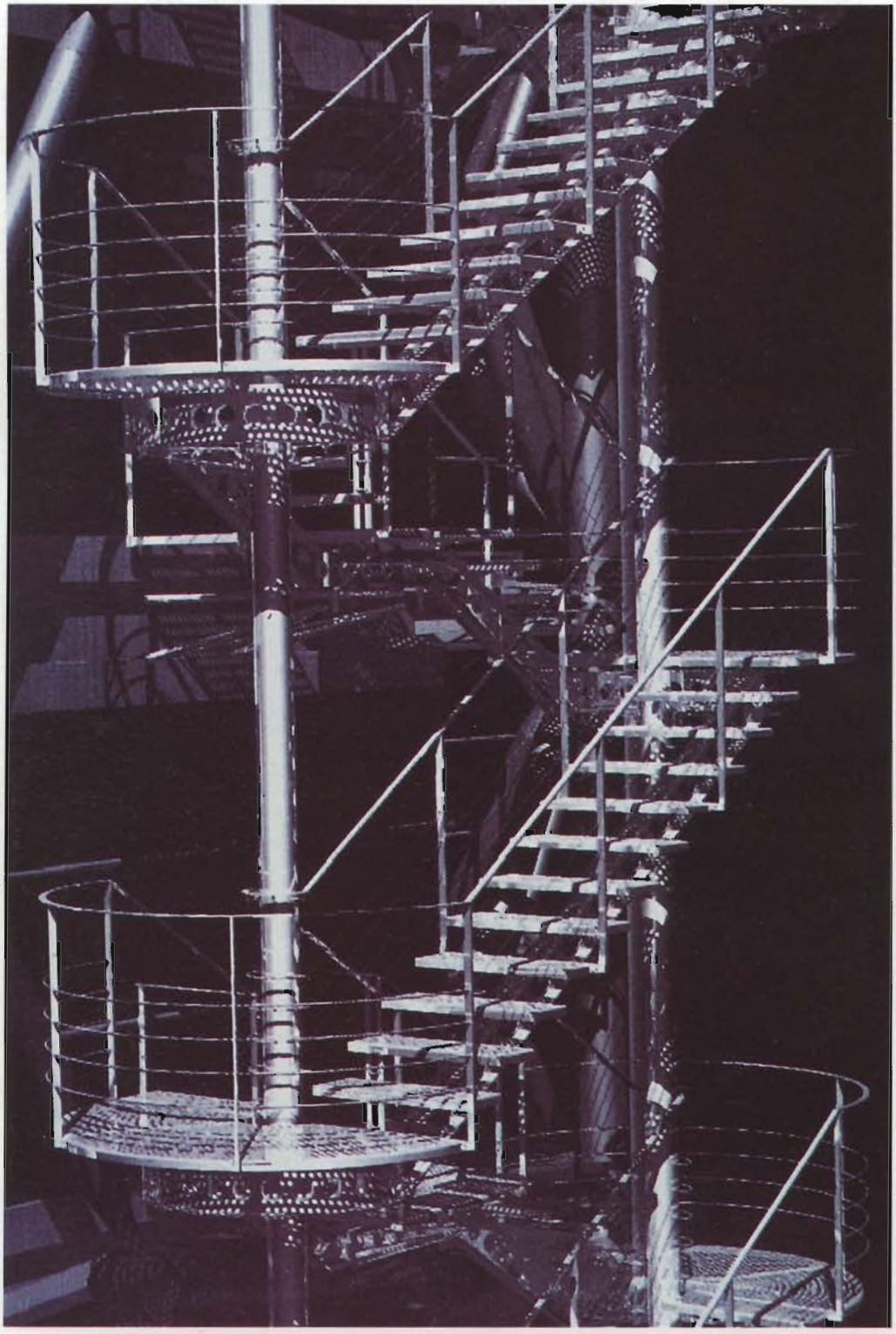
Lámina XVII.
Ian Ritchie, Digbeth
Masterplan,
Birmingham, 1989.







Láminas XVIII y XIX.
Arata Isozaki & Associates, proyectos para la NTV Plaza, 1991 *(izquierda)*, y para el Ayuntamiento de Tokio, 1985-1991 *(derecha)*.



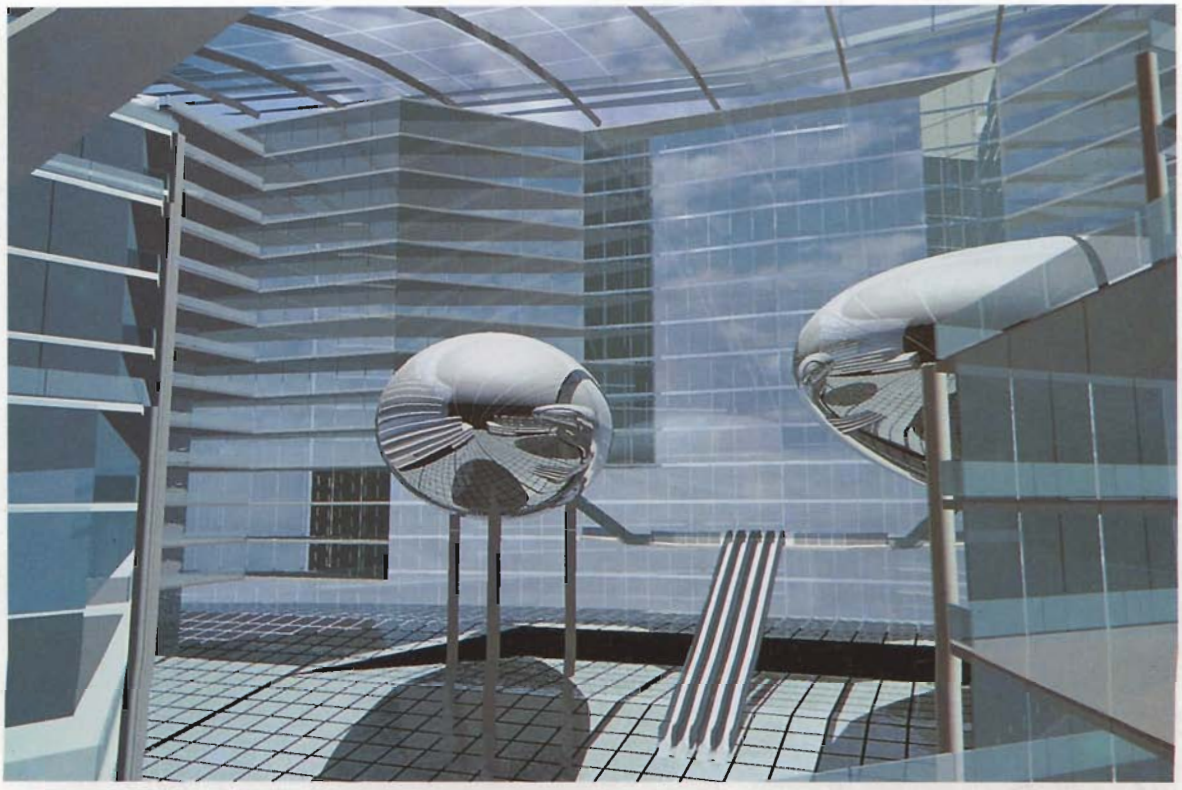
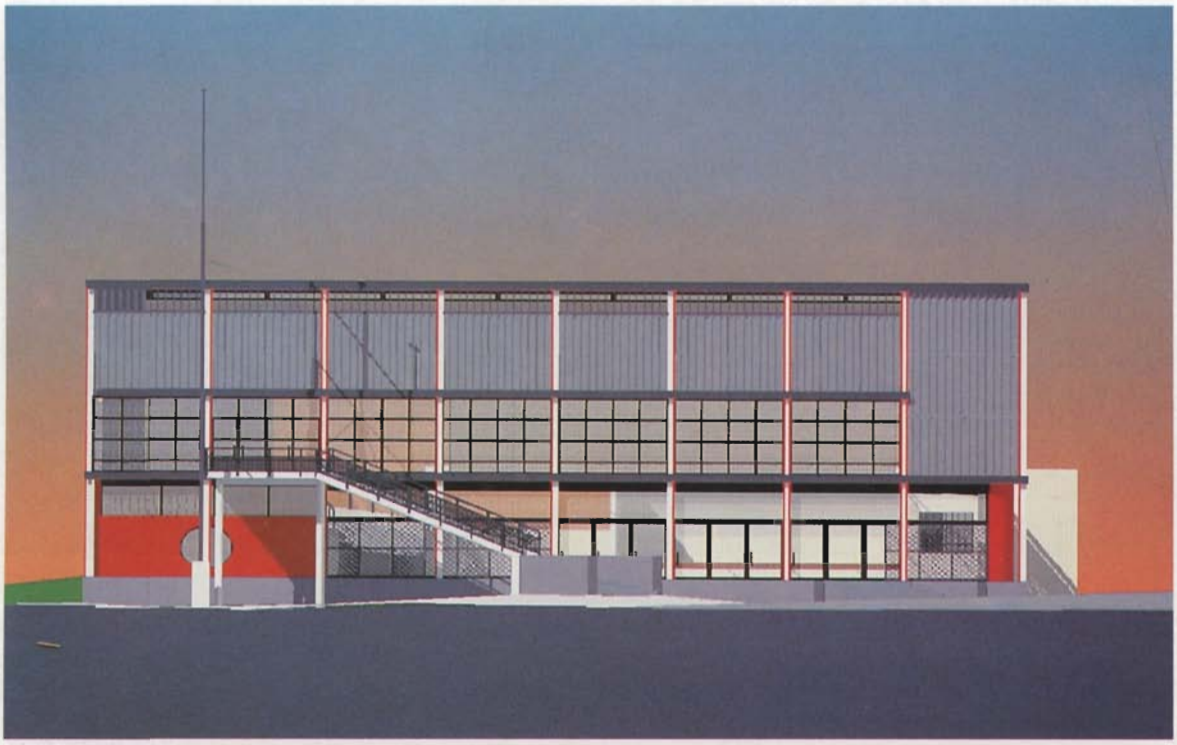
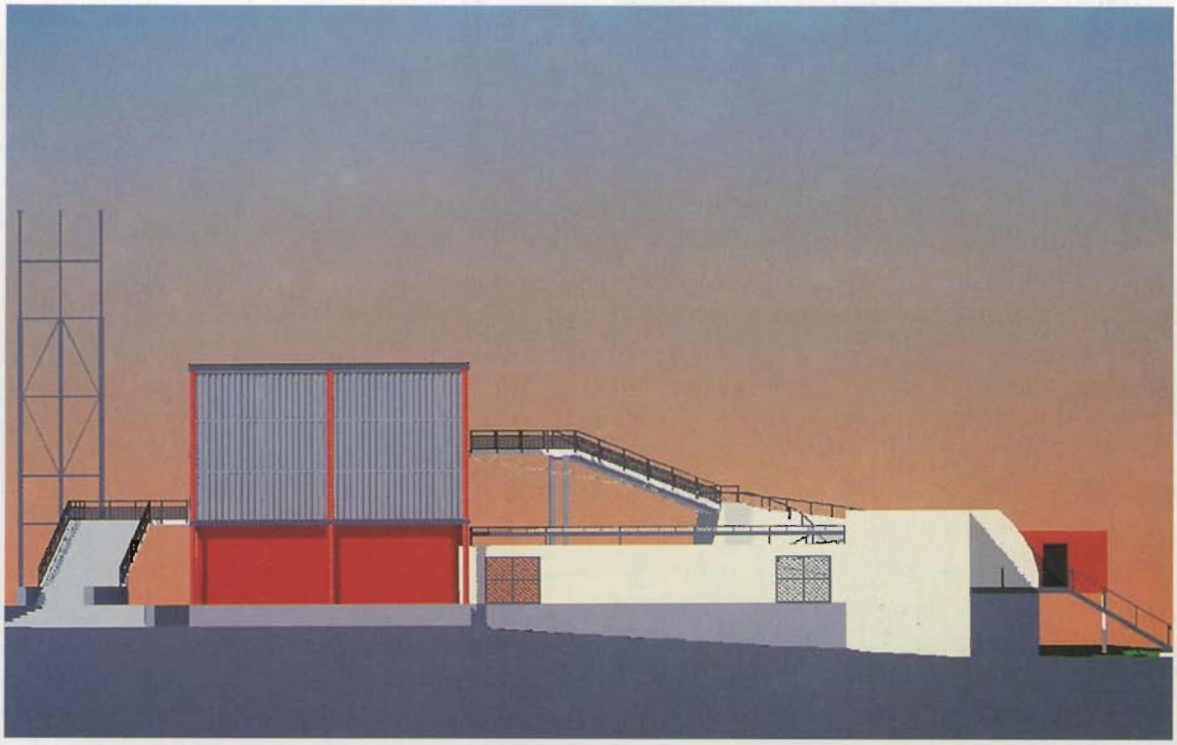


Lámina XXI.
Foster Associates, interior del Hôtel du Département, Marsella, 1990.

< **Lámina XX.**
Richard Rogers Partnership, escalera de la sede central de Rover en Iikura, Japón, 1991.





Láminas XXII y XXIII. Josep Lluís Sert y Luis Lacasa, Pabellón de España en la Exposición Universal de París, 1937. Proyecto para su reconstrucción en Barcelona, redactado por J.M. Hernández León con Espinet y Ubach, 1992. Imágenes elaboradas con el programa Arris.

Láminas XXIV a XXVI. Del mismo proyecto anterior, secuencia de vistas desde el acceso exterior hasta el patio entoldado interior, pasando por el vestíbulo donde se encontraba el Guernica (véase también la portada).

las cuatro caras de los soportes o las fachadas ligeras diferencias de luminosidad. Por supuesto, deben eliminarse todos los elementos que no sean visibles desde cada zona del recorrido. Para ello se pueden usar modelos distintos para el exterior y el interior, e incluso para cada orientación. Durante la animación pueden intercalarse imágenes fijas que permitan entender mejor el proyecto.

Uno de los temas pendientes de la representación dinámica de modelos arquitectónicos con el ordenador (o con el propio vídeo) es la adecuada utilización del montaje cinematográfico. Falta por establecer un lenguaje —que hay que tomar del cine— para la descripción del proyecto. En dicha descripción debería haber vistas generales, primeros planos, *travellings,* fundidos y otras técnicas semejantes. Aunque la mayoría de las animaciones actuales han sido improvisadas —en relación a estas técnicas—, el proceso necesario es igual que el de un rodaje. En primer lugar se debe disponer del modelo, en este caso el proyecto, con su geometría, sus colores y sus texturas. A continuación se ha de escribir el *guión,* estableciendo el movimiento de los objetos que lo tengan: ascensores, puertas, personas (cada vez mejor simuladas) y automóviles. Luego se decide la situación de la cámara en cada momento, su dirección, su objetivo y ángulo de visión, además de los detalles de la iluminación, como la posición y tipo de cada foco. Por último se calculan las imágenes para cada punto y se transfieren a la cinta de vídeo.

Todas estas técnicas se aplican fácilmente mediante programas de animación especializados, pero con ordenadores personales y menos recursos se pueden conseguir también resultados muy interesantes, especialmente si se llevan a cabo las simplificaciones mencionadas más arriba (véase Robertson, «Dibujos animados...»).

Multimedia

La integración de los medios reservados a la representación de la arquitectura construida (fotografía, cine y vídeo) con el grafismo electrónico (infografía) es lo que se denomina 'multimedia', y sus posibilidades de comunicación están hoy al alcance del arquitecto.

De este modo, a esas presentaciones animadas —que visualizan recorridos de un proyecto aún no construido— se les pueden añadir otros recursos como la voz y el sonido, así como las imágenes fijas o en movimiento del lugar donde se ha de ubicar el edificio. Esto permitirá tener una impresión aún más realista de esta experiencia visual de un objeto que no existe. Por ejemplo, la visión desde la calle puede estar fundida con un vídeo de la situación real, de modo que por delante de nuestro proyecto pasen los coches, caminen las personas y se muevan las hojas de los árboles. Igualmente, desde el interior podremos ver la calle exactamente como se vería una vez construido el edificio, y se podrán hacer cálculos visua-

49. Secuencia de la animación de un modelo infográfico. El recorrido va desde el exterior hasta el interior, pasando por la transición que significa la puerta.

les de los niveles de iluminación de las distintas zonas. Eligiendo bien los recorridos, los fondos y los entornos, el arquitecto podrá ofrecer a sus clientes una experiencia casi real del resultado de su proyecto (figura 50).

Lamentablemente, este tipo de presentaciones son por el momento muy costosas y de una rentabilidad relativa, salvo para grandes operaciones con clientes importantes. En cualquier caso, es la relación del arquitecto con el cliente lo que está tomando nuevos cauces. «Las posibilidades de este campo que llamamos 'multimedia'... nos llevan a pensar en un nuevo concepto de arquitecto como *comunicador* de arquitectura, con múltiples campos para explorar, como la pedagogía, la publicidad, el cine o la televisión» [Partearroyo, «Cad en el Mac...», p. 77].

Estereolitografía

Además de dibujar, los arquitectos casi siempre han sentido una gran fascinación por las maquetas. Estos pequeños mundos a escala reducida permiten apreciar sobre todo la organización volumétrica —y, en menor medida, la espacial— de los proyectos arquitectónicos. Estas maquetas son, al igual que los dibujos, productos artesanales que salen del estudio del arquitecto o de un taller especializado. Pero ahora se acaba de descubrir una técnica que puede sernos muy útil a este respecto: la máquina de 'estereolitografía' [véase Hernández Matías, «Estereolitografía...»].

Este invento tiene su origen en la producción industrial, en la que los modelos generados por ordenador se conectan directamente a máquinas que producen las maquetas para su control durante el proceso de diseño, e incluso la pieza final cuando éste se ha terminado. Esta técnica —que suele denominarse Computer Integrated Manufacturing (CIM) o fabricación integral por ordenador— tiene unos efectos de primer orden imaginables: precisión, rapidez y economía. Entre sus efectos indirectos hay uno interesante: la representación pierde valor o desaparece totalmente. La pieza puede ser concebida por completo en el ordenador, con la ayuda de visualiza-

50. Dos ejemplos de técnicas multimedia: visualización del efecto que produciría un proyecto en su emplazamiento real *(izquierda)*, y una visita a un edificio aún no construido *(derecha)*.

ciones, pero sin necesidad de dibujos o planos propiamente dichos. Una vez terminado el diseño, se pasa directamente a la fabricación de la pieza.

Uno de los modelos más difundidos de máquinas de estereolitografía consiste en un cajón aislado de vibraciones en el que existe una cubeta que contiene un polímero líquido. Hay también un rayo láser y, por supuesto, un ordenador que controla el conjunto. Al ordenador se le suministra el modelo geométrico de una pieza, de la que un programa adecuado obtiene una sección horizontal a una distancia minúscula de la base, lo que en arquitectura llamaríamos la 'traza'. Controlado por el ordenador, el rayo láser describe esta figura sobre la superficie del polímero, que se solidifica instantáneamente. Una plataforma dispuesta adecuadamente desciende una determinada distancia en la cubeta, del orden de la décima de milímetro, con lo que una capa de polímero líquido recubre la parte solidificada. El ordenador obtiene un nuevo corte de la pieza por encima del anterior y el láser solidifica de nuevo el polímero. Este proceso se repite una y otra vez hasta que la pieza ha sido totalmente generada.

¿Para qué le sirve esto a un arquitecto? De momento, vale para hacer maquetas: se modela el edificio en el ordenador, se conecta la máquina, se elige una escala pequeña (el tamaño de la cubeta es más bien reducido) y allí, poco a poco, va apareciendo una reluciente maqueta del proyecto. Con las máquinas de reproducción del futuro, que admitirán seguramente tamaños mucho mayores y más variedad de materiales, los arquitectos podrán construir directamente algunos detalles o soluciones constructivas, desapareciendo así los planos... y tal vez los constructores. Ya existe un sistema que permite fabricar de este modo moldes para piezas de hormigón, con lo que

el modelo que sale del ordenador del estudio se convierte, sin intermediarios, en un componente de la obra final. No hay que tener mucha imaginación para augurar a estos sistemas un futuro muy prometedor.

CAPÍTULO 5

EL PROYECTO INFOGRÁFICO

Dibujo y modelo

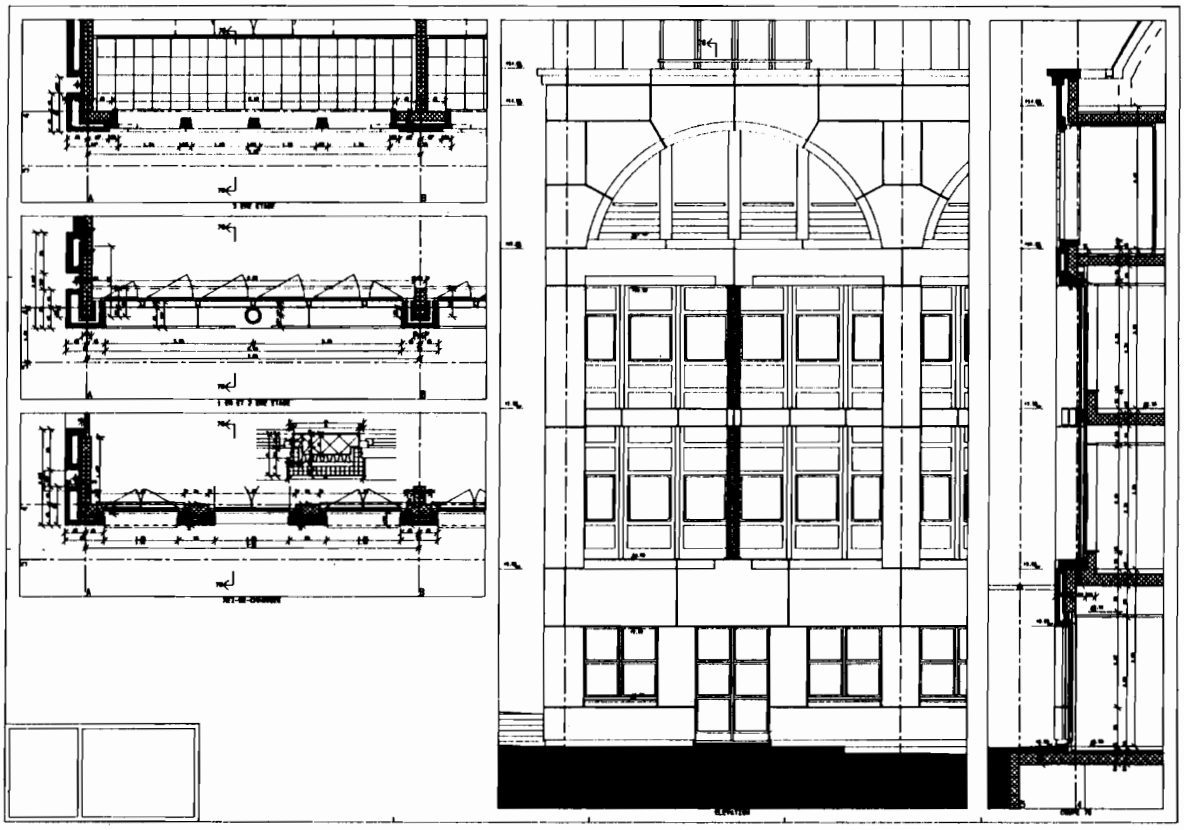
Aunque casi todos los arquitectos suelen imaginar sus edificios como cuerpos tridimensionales en el espacio, la forma tradicional de representarlos ha sido a base de una colección de *dibujos* trazados sobre hojas de papel que, en conjunto, constituían el proyecto necesario para su construcción. Con el ordenador, esta concepción fragmentaria del proyecto ya está en crisis, y ahora los arquitectos pueden hacer realidad su visión tridimensional a través de un *modelo* infográfico elaborado y almacenado en los circuitos del procesador.

Delineación electrónica

El objetivo de los programas que hemos denominado 'de dibujo' es, naturalmente, aumentar la productividad del trazado de planos respecto a su realización manual, pero manteniendo el mayor parecido entre lo que el operador introduce y ve en pantalla y el resultado final, es decir, el plano tal y como se obtiene una vez traspasado al papel (figura 51).

Puesto que cada medio impone sus particularidades, este deseo inicial se ve matizado debido a consideraciones prácticas. Por ejemplo, la resolución de las pantallas actuales no permite percibir diferencias de grueso en las líneas. Se admite, por tanto, que los diferentes gruesos o plumas del trazado definitivo se representan en pantalla mediante colores. De la misma forma, la rotulación suele representarse en pantalla de forma simplificada y, a veces, mediante un sistema de escalas diferente al del dibujo trazado sobre papel, para que pueda leerse con facilidad.

No obstante, estas diferencias no desvirtúan el objetivo inicial de los programas de dibujo. Apoyándose en ello, podría suponerse que la productividad del dibujo de planos mediante el ordenador es escasa, ya que el resultado está muy cercano a lo que se ha introducido. Esto puede ser así cuando se compara estrictamente el tiempo necesario para introducir en el ordenador un dibujo cualquiera por primera vez con el tiempo que se tardaría en su realización manual.



51. El objetivo primordial de los programas de delineación electrónica es el de producir planos semejantes a los que se dibujan manualmente, pero con una rapidez y una precisión difíciles de superar.

Sin embargo, varios factores colaboran para aumentar la productividad del dibujo informatizado:

— *Repetitividad.* Los dibujos de arquitectura contienen muchos elementos seriados, así como estructuras repetidas y simetrías, que en el ordenador sólo han de dibujarse una vez.

— *Modularidad.* La mayoría de los planos de un proyecto comparten una información común (por ejemplo, el esquema de una planta), sobre la que se añade lo específico del plano (acotación, mobiliario, electricidad, acabados, etcétera). El ordenador imita y simplifica el trabajo con *reproducibles* y *contravegetales.*

— *Progresividad.* La velocidad en el dibujo manual tiene un límite, pero el nivel de dominio de un programa de dibujo presenta casi ilimitadas posibilidades de mejora.

— *Flexibilidad.* Las plantillas de aparatos y letras de los sistemas de delineación electrónica (generalmente denominadas 'bibliotecas') se adaptan a todas las escalas, proporciones e inclinaciones.

— *Aumento de memoria.* En todo nuevo proyecto, el arquitecto suele incluir algo novedoso, pero también incorpora ideas de proyectos anteriores. Si se trabaja con un cierto sentido del orden, cada

nuevo elemento dibujado puede ser reutilizado en proyectos posteriores.

— *Automatismos.* Los programas especializados en el dibujo de arquitectura disponen de diversos automatismos para agilizar el trabajo, como la acotación automática o semiautomática o el trazado de muros multicapa definiendo únicamente la directriz.

Aun así, la mayor ventaja de los programas de dibujo está en la facilidad de realizar modificaciones sobre dibujos ya realizados. Si el arquitecto supiera que el primer plano trazado va a ser el definitivo, el trabajo con el ordenador no dejaría de ser un 'pasado a limpio' o un simple esnobismo.

Pero existe, además, un horizonte más allá de los programas de dibujo, en la búsqueda de un entendimiento más integral del proyecto de arquitectura y de un mayor aprovechamiento del ordenador.

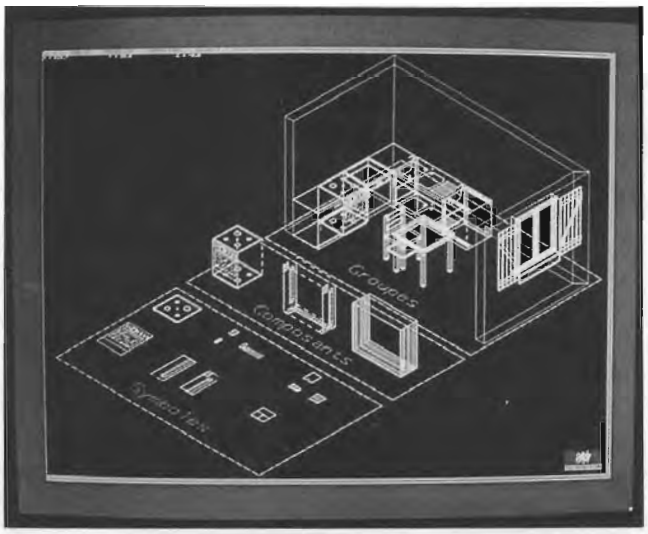
Diseño automatizado

Los expertos suelen citar dos fases en la implantación del ordenador en todo tipo de actividades. Una fase inicial, llamada a veces 'mecanización', trata de imitar todo lo posible el trabajo manual, no sólo por su mayor sencillez de desarrollo desde el punto de vista informático, sino también para facilitar su incorporación por parte de los usuarios que se acercan por primera vez a la informática. Esta fase corresponde, en la arquitectura, al desarrollo y utilización de programas de dibujo.

Una segunda fase, llamada 'automatización' —o, cuando es más profunda, 'reingeniería'—, consiste en el estudio detallado de la realización manual de cada tarea y su adaptación para aprovechar todas las posibilidades del ordenador, sin preocuparse demasiado del parecido con el procedimiento anterior. Esta fase es la que empieza a introducirse en la arquitectura con los programas que hemos llamado 'de diseño' y con el 'proyecto asistido'.

En los programas de diseño la unidad de trabajo ya no es el dibujo o el plano. El proyectista debe introducir en el ordenador la información suficiente para describir geométricamente el edificio, no como conjunto de planos, sino como volumen tridimensional en el espacio. Esto es lo que se llama el 'modelo' o, de forma más pedante, la 'maqueta electrónica'. Como dice Polistina, «en este caso se habla de un sistema gráfico capaz de describir y modelar la forma del sistema físico» [véase «CAAD: La progettazione architettonica...», p. 17].

Es difícil comprender de entrada hasta qué punto es diferente este modelo tridimensional del conjunto de planos tradicionales usados para describir un proyecto. El modelo del ordenador no se compone ya de rectas y círculos, ni siquiera de superficies, sino de



52. En los programas de diseño automatizado, el proyecto infográfico no se compone simplemente de líneas y superficies, sino de una serie de piezas tridimensionales que se van montando de un modo semejante a la construcción real.

piezas, tantas como sean necesarias para definir el edificio. Unas piezas son placas de forjado y techo, otras son elementos de muro, losas de escalera o faldones de cubierta (figura 52).

En los programas de este tipo, hasta los elementos auxiliares, como las cotas o la rotulación, se deben situar en el propio modelo, en la posición espacial y con la orientación necesarias para que aparezcan en los planos en el sitio adecuado. Por ejemplo, la rotulación de los alzados se incluye en un plano vertical paralelo a cada fachada, y las cotas de planta se suelen situar en un plano horizontal y ligeramente superior a la cota de la planta a que corresponden.

Naturalmente, el control de este tipo de información es más complicado en principio que el manejo de la información contenida en los planos tradicionales.

Por una parte, es una información espacial: los elementos que definen el proyecto tienen volumen y están en una cierta posición en planta y a una determinada altura. El manejo de estos elementos requiere programas con unos recursos muy especializados, ya que la visión y la construcción espacial no es fácil. Por ejemplo, si se marca un punto en una pantalla que muestra una vista en perspectiva, este punto indica en realidad una recta (la que pasa por él mismo y por el punto de vista) y, en ausencia de algún otro recurso, no está determinado el punto del modelo a que uno se refiere.

En segundo lugar, la introducción del modelo tridimensional del edificio requiere un grado de definición y de acabado —y, por tanto, de toma de decisiones— superior a lo necesario para el dibujo tradicional en planta y alzado. En estos últimos documentos muchas zonas del diseño están simplemente indicadas, y su solución se

pospone sin ningún problema al momento de la ejecución. Pensemos en una escalera. Si se cuenta en obra con unos trabajadores de una cierta experiencia, su definición en planta y alzado puede ser suficiente para el replanteo y la construcción. Los programas de diseño, sin embargo, exigen un modelado volumétrico detallado de las losas, zancas, mesetas y peldaños que la definen.

A pesar de lo anterior, sería un error pensar que la introducción de modelos tridimensionales de arquitectura en el ordenador es lenta o está poco conseguida. Si se dispone de los programas adecuados y se tiene claro el objetivo que se desea, esta operación no tiene por qué consumir un tiempo excesivo.

Cuando se muestran imágenes especialmente acertadas de proyectos de cierta complejidad siempre hay alguien que pregunta: «sí, pero ¿cuánto tiempo se ha tardado en introducir todo esto?» Siempre hay dos ideas comunes en la respuesta. Por una parte, el tiempo suele ser menos de lo que imagina quien pregunta, debido a que los programas actuales disponen de herramientas muy especializadas para esta tarea. Esto puede no ser cierto si se han utilizado programas genéricos, que pueden ser muy potentes para el modelado de pequeños objetos industriales o para la visualización de carácter publicitario, pero no pueden competir con los programas orientados a la arquitectura.

En segundo lugar, no tiene sentido realizar los proyectos fuera del ordenador para introducirlos posteriormente, de una sentada, una vez terminados, sino que lo normal es ir trabajando con ellos en el ordenador desde una etapa relativamente temprana y, por tanto, no existe un tiempo de introducción como tal, sino que se diluye en el tiempo general dedicado al proyecto y a todas sus modificaciones.

Por otra parte, y como contrapartida al nivel de exigencia comentado anteriormente, los programas que manejan un modelo integrado del proyecto ofrecen también un elevado nivel de resultados.

Para empezar, y puesto que el ordenador *conoce* con más o menos detalle todo el proyecto, puede generar automáticamente los documentos necesarios para construirlo, especialmente los de carácter gráfico —planos— pero también los alfanuméricos, como los presupuestos o pliegos de condiciones. Los planos se convierten así en un resultado final del proceso de proyecto, a efectos de su transmisión, y pierden en parte su función de herramienta de ayuda a la creación. Como citaba Charles B. Thomsen en un informe sobre siete programas de CAD, el arquitecto, cuyo encargo consiste en la solución de un problema, invierte más tiempo y esfuerzo en la tarea de documentar la solución que en el proceso de buscarla. Los programas de diseño tratan de dar la vuelta a esta curiosa situación.

Además, cada pieza de información relevante para la definición

del proyecto está en un sitio y sólo en un sitio. Esto es lo que se conoce como 'integración'. Tras cada modificación, se tiene la garantía de que ésta ha repercutido automáticamente en todo el modelo y en todos los documentos que se generan con posterioridad. Por ejemplo, el desplazamiento de un hueco tiene un efecto inmediato en las plantas, alzados y secciones que se realicen con posterioridad, sin que sea necesario repasar cada documento por separado.

Por último, el modelo se convierte, usando una terminología bastante desgastada, en una verdadera 'base de datos', donde a la definición geométrica y constructiva se puede añadir información de diferentes tecnologías y especialistas, como la referente a estructuras o instalaciones. Esta información puede ser editada y explotada mediante el mismo sistema o, a veces, mediante otros independientes.

Del plano 2D al espacio 3D

Las características mencionadas de los programas de dibujo y diseño indican que estos últimos tienen que considerar siempre información tridimensional. Sin embargo, muchos programas de dibujo no están limitados al tratamiento de información en las dos dimensiones del plano. Como ya hemos adelantado (véase el capítulo 2), los programas 2D+3D pueden manejar perfectamente un espacio en tres dimensiones, en el que el usuario puede construir representaciones espaciales de su proyecto. Pero hay diferencias muy importantes con los modelos integrados de los programas de diseño.

Los programas 2D+3D suelen construir los modelos mediante superficies y no mediante sólidos. Esta diferencia no impone ninguna limitación especial a la visualización, ya que se pueden obtener imágenes de la misma calidad a partir de ambos modelos. Sin embargo, la forma de construir el modelo 2D+3D es muy diferente a la del modelo 3D, y también son diferentes el objetivo y las operaciones que pueden realizarse con uno y otro.

El modelo 2D+3D se puede construir mediante órdenes directas del programa que realizan la creación de cubos, paralelepípedos, esferas o conos. Sin embargo, lo que el programa crea suelen ser conjuntos de superficies (generalmente caras triangulares o rectangulares) que definen el objeto, pero que no forman una entidad única. Esto es fácil de comprobar si se intenta editar o eliminar alguna de las superficies individuales de un objeto. En un programa 3D es imposible eliminar o separar una cara de un prisma o una parte de la superficie de una esfera; el programa reconoce ese objeto como una entidad. Por el contrario, en un modelo 2D+3D las superficies están visualmente conectadas, pero es fácil editarlas por separado y dejar, por ejemplo, un cubo sin una de sus caras o un cilindro sin base.

La tendencia natural de los sistemas a aparentar más posibilidades de las que en realidad disponen genera una gran confusión y hace difícil, en muchos casos, distinguir a primera vista el tipo de programa de que se trata. Con esta intención, conviene diferenciar dos conceptos cruciales para la caracterización de los programas de dibujo y diseño. Se trata de la diferencia entre *primitivas* y *comandos*.

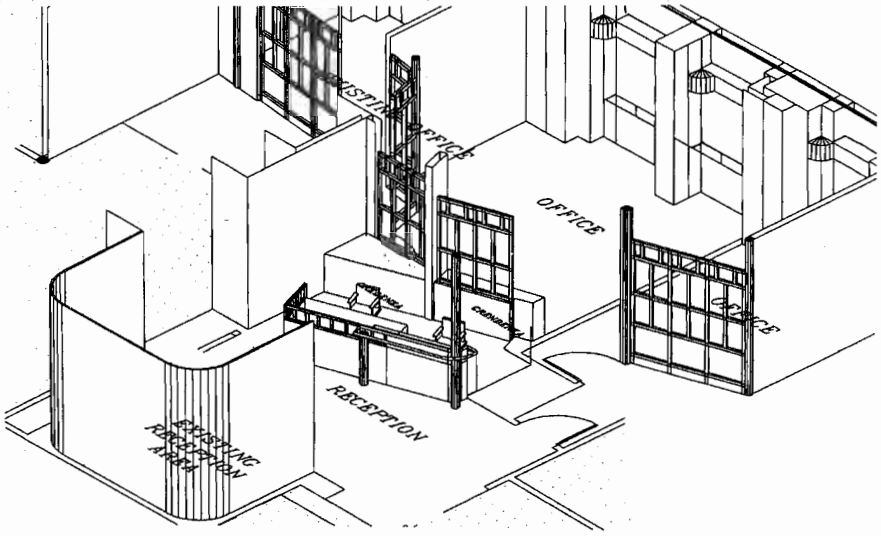
Una *primitiva* es cada una de las entidades diferentes que son reconocidas como tales por un programa. Un programa de dibujo plano, por ejemplo, puede tener como primitivas segmentos de recta, círculos completos y segmentos de arco. Un *comando* es toda acción del sistema que se puede solicitar en una sola vez. Un comando puede generar un objeto que contiene más de una primitiva del sistema. Este mismo programa de dibujo puede tener un comando que realiza el trazado automático de líneas dobles o una orden para el trazado de elipses. Puesto que el programa no dispone de estas primitivas, la línea doble se traza usando dos entidades de línea independientes y la elipse se descompone en cuatro arcos. Esto se hace automáticamente, por lo que no es fácil detectar la diferencia respecto a un sistema que realmente tuviera por primitivas las líneas dobles o las elipses. Sin embargo, cualquier operación que afecte por separado a alguno de los elementos independientes pondrá de manifiesto la falta de relación entre las partes. Esto ocurre, por ejemplo, si se trata de borrar la elipse: hay que proceder uno por uno con sus cuatro arcos.

La potencia verdadera de un sistema se mide por la categoría de sus primitivas (que equivale a la calidad de su base de datos) y no tanto por la cantidad de sus comandos, que pueden ocultar importantes deficiencias estructurales. Aunque, en principio, los objetos construidos de una y otra forma parecen iguales, un programa sólo puede controlar realmente los objetos que se identifican con primitivas. Los demás son simplemente acumulaciones de líneas y superficies.

Extrusión frente a proyección

Puesto que en la arquitectura la planta desempeña un papel tan importante, muchos de los programas 2D+3D especializados permiten también construir fácilmente modelos en tres dimensiones mediante una 'extrusión' de determinados elementos del plano que el programa reconoce de alguna manera como *muros*. Si el usuario indica las alturas de arranque y coronación de estos elementos, así como las de los alféizares y dinteles de los huecos, el programa puede extrudir las líneas del plano y generar un modelo espacial, aunque limitado, del edificio que se ha dibujado (figura 53).

Esta extrapolación de información a partir de las trazas puede actuar como una base, a la que el proyectista añade elementos que

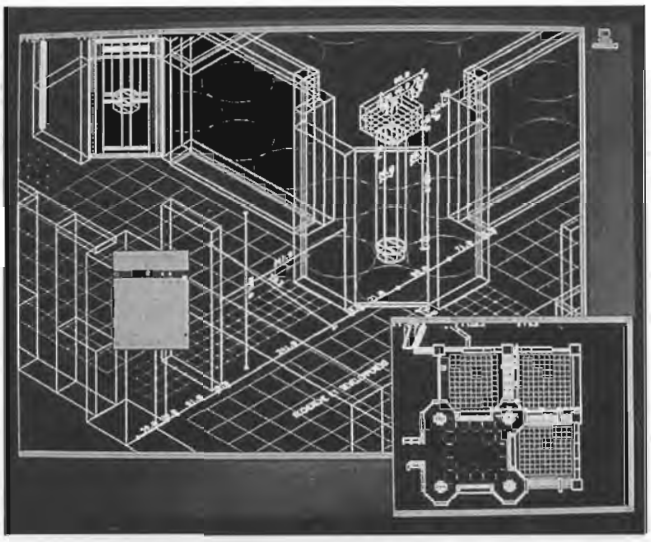


53. En los programas 2D+3D los dibujos tridimensionales, como axonometrías y perspectivas, se obtienen por *extrusión* de la planta.

no pueden ser deducidos de la planta, como las cubiertas y las escaleras, a fin de completar el modelo y obtener las visualizaciones deseadas.

La generación de documentos gráficos en los modelos 3D —como ya hemos comentado— es exactamente la contraria. En este proceso, que podríamos denominar 'proyección', en contraposición a la extrusión, se crea primero el modelo en tres dimensiones y el programa deduce a partir de él los documentos deseados (figura 54). Cuando se solicita la creación de un nuevo plano, el programa investiga el modelo y localiza toda la información necesaria para este plano. Por ejemplo, si se solicita un alzado, el programa busca, entre las superficies de todos los elementos del proyecto, aquellas que se perciben desde la dirección indicada en función de sus distancias relativas; recupera los grafismos de los huecos de la biblioteca correspondiente; añade las texturas necesarias; incluye los textos o cotas que pudieran ser visibles; y por fin dibuja el resultado.

La operación de proyección puede parecer sencilla, pero no tiene nada de trivial. La obtención de perspectivas y alzados no es un problema exclusivo de programación. Las leyes de la geometría descriptiva y la física determinan bastante bien lo que se ve desde un determinado punto de vista. Pero sólo con ellas no se obtienen documentos gráficos suficientemente adecuados para la arquitectura. Por ejemplo no está claro cómo representar mediante líneas un cilindro en alzado, de forma que se perciba la curvatura. Tampoco definen cuál es el nivel de detalle adecuado a cada escala. Incluso en los programas en los que el grafismo de los detalles se adecúa automáticamente a la escala, es imposible representar adecuada-



54. En los programas 3D+2D se trabaja desde el principio en tres dimensiones *(recuadro grande)*, y los planos bidimensionales *(recuadro pequeño)* se obtienen por *proyección*.

mente un muro de ladrillo o una escalera de cierta longitud que se alejen del espectador.

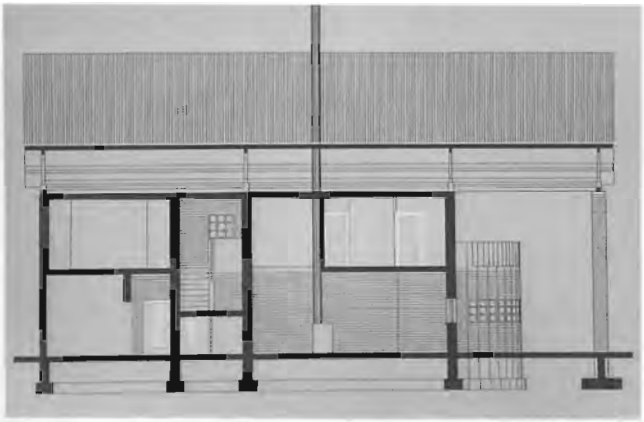
La obtención de una planta es una cuestión aún más delicada. Una planta no consiste simplemente en un corte horizontal a cierta altura del modelo del edificio. La planta incluye un corte, pero también un fondo (lo que se ve mirando desde arriba) y una proyección (la información que queda detrás del observador, pero necesaria en el documento, como el borde de la cubierta).

Ni siquiera el corte horizontal es un corte limpio. El grafismo que los arquitectos acostumbran a utilizar para una escalera que pasa por la planta dibujada tiene escasa relación con el corte real de la losa de la escalera por un plano horizontal. De la misma forma, en una planta se dibujan todos los huecos existentes en la fachada, aunque pudiera no existir ningún plano horizontal que los atravesase simultáneamente a todos (figuras 55 y 56).

Cuando la arquitectura es poco convencional y existen múltiples niveles de suelos, inclinaciones en paredes y curvaturas no habituales, la representación automática puede ser incapaz de describir adecuadamente el proyecto, por más que pueda ayudar a la obtención de los esqueletos de perspectivas para completar manualmente.

Intervención manual

Los usuarios de los sistemas 3D pueden intervenir manualmente sobre los planos, una vez generados, añadiendo información que no compensa introducir en el modelo tridimensional, como detalles constructivos o la propia carátula del plano. Los usuarios de los programas 2D+3D —como ya se ha mencionado— tienen que com-



55. Los modelos en 3D están *completos* en la memoria del ordenador, por lo que de ellos se pueden extraer los diferentes planos, como las secciones, que, incluso en el dibujo infográfico, son las menos frecuentes de las proyecciones ortogonales.

56. Además de planos, los programas 3D permiten hacer análisis como éste, en el que la relación entre el exterior y el interior se estudia eliminando gráficamente un trozo del edificio.

pletar inevitablemente en los modelos de extrusión toda la información que el ordenador no puede deducir del plano.

Por tanto, en cualquiera de los dos casos el modelo espacial y los planos pueden evolucionar por separado. Pueden tener información diferente o incluso contradictoria. Esto puede producir un inconveniente típico del trabajo con ordenador que suele llamarse 'problema del doble mantenimiento', por el que el usuario cree que basta con actualizar la representación para que se modifique el objeto, o viceversa. Nosotros preferimos denominarlo 'problema de Dorian Gray', en referencia al personaje de Oscar Wilde cuyo retrato envejecía mientras él se mantenía eternamente joven.

En el modelo 3D tiene menos sentido corregir directamente el plano. Las modificaciones se realizan sobre el modelo y los planos se generan completos de nuevo cuando son necesarios. En algunos programas, el usuario puede reservar algunas capas de los planos para las intervenciones manuales y dejar otras para ser rellenadas automáticamente por el programa cuando genere el plano. Esta

delimitación permite recalcular los planos, cuando se modifica el modelo, sin desechar los añadidos manuales.

Si se utilizan sistemas 2D+3D, es conveniente pasar al modelo tridimensional cuando el proyecto esté lo más avanzado posible. En otro caso, es más que probable que las modificaciones posteriores de los planos obliguen a generar y completar nuevamente el modelo, o bien a realizar todas las modificaciones sucesivamente sobre planos y modelo.

Un corolario curioso de la informatización, ya citado, es que la más pequeña modificación de un proyecto realizado en un ordenador obliga a reeditar totalmente los planos implicados, ya que no existe por el momento el trazador capaz de retomar su propio dibujo, raspar y dibujar las modificaciones.

Dos estilos, dos culturas

Estas dos grandes familias de programas de arquitectura caracterizan dos formas distintas de desarrollar un proyecto, que, si la palabra no hubiera perdido toda credibilidad hace unos años, denominaríamos como dos 'metodologías'. Algunos arquitectos prefieren iniciar los proyectos mediante esbozos rápidos, apoyados preferentemente en ideas de volumen, globales, que van depurando poco a poco y adecuando a medidas reales, de forma que los planos se deducen de una forma iterativa o dialéctica con una idea mental que han ido construyendo. Otros arquitectos, por el contrario, trabajan fundamentalmente en planta —quizá porque así lo sugiere el tipo de trabajos que les encargan— y consideran los alzados y las secciones más como un documento necesario para terminar el proyecto que como una herramienta de trabajo. De igual forma, unos arquitectos proyectan con medios técnicos deliberadamente poco precisos —rotulador, lápiz grueso y blando—, mientras que otros inician el proyecto desde el primer momento sobre papel milimetrado y con lápiz 7H.

Estas diferentes actitudes imposibilitan determinar cuál es el tipo de programa que refleja 'la verdadera forma de trabajar' del arquitecto. En otro caso, y dadas las aparentes ventajas de los sistemas 3D y sus modelos integrados, los arquitectos se habrían decidido sin más por este tipo de programas. Por esta razón, es importante comprender las diferencias de organización y *cultura* de estudio que van asociadas a ambas filosofías.

Los programas de dibujo están pensados fundamentalmente para ser manejados por delineantes, mientras que los sistemas de diseño pueden ser usados por el propio arquitecto o, en cualquier caso, requieren un tipo de formación y aptitudes superiores a los que se contemplan en las escuelas de formación de profesionales del dibujo. Esto no pretende establecer diferencias sobre unas y otras titula-

ciones, sino delimitar de la forma más clara posible la cualificación esperada del usuario. Puesto que el programa de diseño es una ayuda al diseño en sí, parece lógico que sea el diseñador o alguien de similar orientación quien lo utilice. Lo contrario lleva —ha llevado, de hecho, en muchos estudios— a calificar este tipo de programas como «muy difíciles de manejar» y a perder una importante oportunidad de introducirse adecuadamente en la informática.

Los programas de diseño obligan a la introducción del modelo en tres dimensiones, sea o no necesario por las características del encargo. Éste puede ser un alto precio a pagar en muchos proyectos donde la volumetría es irrelevante. En los programas de dibujo 2D+3D el modelo espacial se construye sólo cuando se desea o —como dirían los norteamericanos— sólo si «alguien lo paga». A veces, el modelo se construye antes que los planos o en su lugar: por ejemplo, para presentarse a un concurso de ideas. En muchos casos, por el contrario, no hay modelo tridimensional, lo cual es fácil de comprender en estudios de arquitectura donde las perspectivas se realizan en contados proyectos, sencillamente porque no son necesarias.

Por último, los programas de dibujo se adaptan mejor a la organización actual de los estudios, puesto que se presentan directamente como una sustitución de tableros por pantallas, mientras que los programas de diseño difícilmente se introducen sin importantes modificaciones en la estructura del estudio, especialmente de sus recursos humanos. La organización tradicional del trabajo con planos —en la que cada persona trabaja en un documento y se preocupa de que los cambios repercutan en los demás documentos implicados— está profundamente arraigada: los programas de dibujo tratan de aumentar la productividad de esta tarea, modificando lo menos posible los procedimientos ya conocidos. Resulta fácil organizar, por ejemplo, varias estaciones de trabajo en las que se opera sobre un proyecto común. El modelo integrado de los sistemas 3D, por el contrario, es más difícil de compartir. Aunque se simplifica la introducción de cambios, no existen sistemas adecuados para el nuevo reparto de tareas.

En nuestra opinión, resulta fácil detectar una interesante especialización de los programas de arquitectura por continentes. Mientras que los programas norteamericanos, como Arris, están basados en la filosofía de AutoCad y tratan de buscar herramientas que incrementen lo más posible la productividad del estudio —es decir, la generación de plantas, alzados y otros documentos convencionales—, los programas europeos, de los cuales el paradigma más claro es CadStar (hoy StarArchi), tratan de penetrar más profundamente —incluso, más académicamente— en las verdaderas raíces de la arquitectura, en una línea que quizá produzca desarrollos más prác-

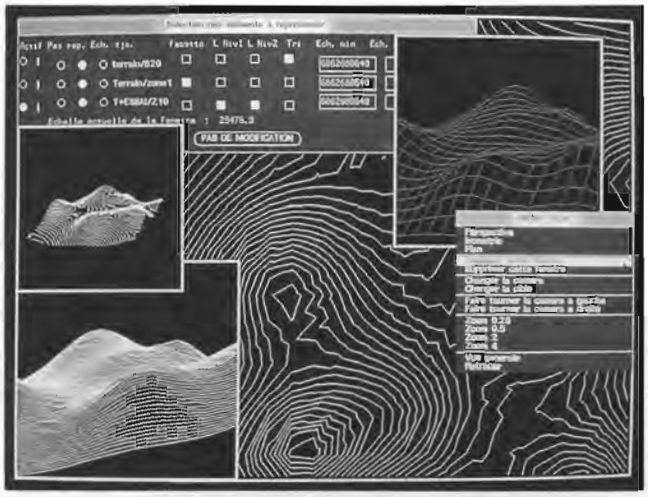
ticos en el futuro. Otros arquitectos, como Francisco R. Partearroyo, han encontrado una situación diferente en el mundo Macintosh, donde los programas norteamericanos proporcionan excelentes sistemas de visualización, mientras que los europeos se han centrado más en las ayudas a los trabajos tradicionales del estudio [véase su artículo «CAD en el Mac...»].

La coexistencia de sistemas (y cada programa presenta siempre alguna diferencia en la forma de entender y desarrollar la práctica del proyecto de arquitectura) es una expresión natural y enriquecedora de una diversidad de actitudes en nuestra profesión. Por eso tiene poco sentido tratar de encontrar *el mejor.* Algunos de los análisis comparativos de programas —prometidos periódicamente por parte de colegios profesionales, escuelas y otras instituciones— fracasan al no entender que el programa *mejor* no existe. Estas organizaciones, empeñadas por desconocimiento o por intereses en *recomendar* unos u otros programas, deberían más bien recoger y presentar las especificaciones de unos y otros programas de una forma homogénea para que los arquitectos pudieran elegir por sí mismos, como ocurre en el resto de la informática profesional.

Para concluir, los diferentes tipos de programas podrían clasificarse en dos grupos: los que tratan de satisfacer necesidades actuales —mejora en la productividad del dibujo, mayor calidad en los trabajos—, a los que cabría considerar como programas de apoyo *táctico;* y los que tratan de presentar nuevas maneras de desarrollar el proyecto —proporcionando soluciones diferentes y anticipando un proyecto más integrado—, a los que habría que denominar sistemas de apoyo *estratégico.* Quizás así pueda el arquitecto adquirir un mejor criterio para reconocer el tipo de recursos informáticos más adecuados en cada momento.

El espacio arquitectónico en el ordenador

Todas las actividades de construcción y diseño se desarrollan en el espacio habitual de tres dimensiones. Sin embargo, este espacio no es idéntico al espacio euclídeo de tres dimensiones que manejan los matemáticos. El espacio en el que reside cada tecnología tiene características diferentes que permiten describir mejor los objetos propios de la misma. Por ejemplo, un topógrafo vive en un espacio que no es exactamente tridimensional, ya que cada punto de la superficie que describe la superficie de la tierra puede estar a una y sólo a una altura. Es más bien un espacio plano levemente *arrugado* que no necesita una descripción tridimensional completa; sus objetos (los terrenos) nunca se desplazan, giran o se inclinan, ni pueden coexistir dos de ellos a diferente altura (figura 57). El espacio necesario



57. El espacio topográfico no es exactamente tridimensional, sino que se asimila más bien a un plano con relieve. En arquitectura, este concepto espacial se usa para la modificación de los terrenos.

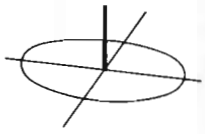
para que los ingenieros mecánicos describan sus piezas, como una biela o un grifo, o el de los que calculan estructuras por elementos finitos son otros tantos ejemplos de representaciones diferentes del espacio.

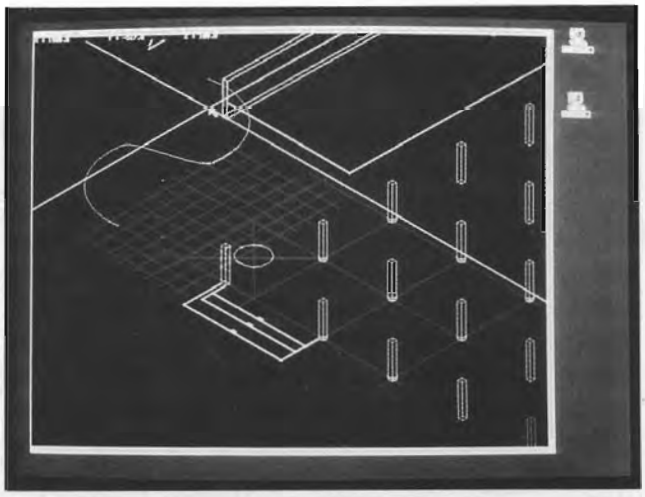
Especificidad

En el espacio de la arquitectura, por su parte, no tienen igual valor las tres dimensiones tradicionales: largo, ancho y alto. Los objetos de la arquitectura se describen fácilmente usando un sistema de referencia basado en planos horizontales que se completan mediante proyecciones y cortes ortogonales. La arquitectura vive en un espacio anisótropo de dimensiones diferentes donde el plano horizontal es la referencia fundamental; un espacio en el que no son irrelevantes las orientaciones (es decir, la relación de cada objeto con el norte, el sur, el este y el oeste), con una dirección privilegiada marcada por un eje vertical ascendente [véase Norberg-Schulz, *Existence, Space and Architecture*].

Este espacio, además, carece de origen y de ejes coordenados. Los elementos de la arquitectura se definen siempre por sus relaciones con otros elementos y no por sus coordenadas absolutas, como lo prueba el hecho de que ningún plano de arquitectura tenga ejes de referencia (figura 58). Los programas de modelado que definen o solicitan los puntos por sus valores de *x y z* ponen en evidencia su origen y destino para otras tecnologías muy distintas, además de ser extremadamente ineficaces para el modelado de arquitectura.

La métrica del espacio de la arquitectura está bien definida y limitada: pocas veces se utilizan precisiones menores del centímetro. Tampoco es habitual el uso de tolerancias, al menos explícitas. Los





58. Esquema del espacio arquitectónico según Norberg-Schulz *(abajo)*. Este concepto de espacio anisótropo es el que manejan los programas de diseño que trabajan con componentes tridimensionales apoyados en el suelo *(derecha)*.

objetos de la arquitectura no son tan difíciles de representar y acotar como las piezas del diseño mecánico y, por tanto, existen menos reglas y convenios escritos, aunque la práctica ha llegado a determinar muchas costumbres.

Esta especificidad del espacio de la arquitectura, tema más bien de interés académico en la práctica tradicional, es importante al tratar de los programas de ordenador, porque la estructura del espacio determina las operaciones que pueden realizarse con los objetos. Siguiendo con el ejemplo del espacio de los topógrafos, las operaciones que éstos necesitan realizar con el terreno consisten en explanaciones, vaciados, rellenos y terraplenados; estas operaciones son fáciles de realizar con un modelo de superficie deformada, pero serían desusadamente incómodas con un modelador de sólidos en tres dimensiones (aparte de requerir una mayor potencia de cálculo y generar unos modelos mucho más voluminosos).

Las operaciones de troquelado, estampación y extrusión —propias de determinados procesos de fabricación— se adaptan a su vez a diferentes modelos de espacio, mientras que la construcción de la arquitectura —que se realiza preferentemente apilando y adosando elementos— requiere un modelo espacial como el que ya hemos descrito. Los elementos de la arquitectura se superponen unos sobre otros y se mantienen, aunque parezca lo contrario, gracias a la atracción de la gravedad, que actúa en esa dirección vertical predominante descrita por Norberg-Schulz.

Otra particularidad del modelado de arquitectura es el tratamiento diferenciado de *agujeros* y *huecos*. Un agujero es una zona vacía en un elemento macizo, en la que no existe nada. Un hueco, por el contrario, es una zona de un elemento macizo sustituida por

otro elemento, como una puerta o una ventana. Esta diferencia es una de las piedras de toque para la comparación de sistemas de modelado, ante la que fracasan todos los programas no especializados por su dificultad para realizar operaciones como introducir un hueco en un muro, alargarlo o desplazarlo.

Las condiciones prácticas en las que se desarrolla el trabajo de los arquitectos imponen también diferencias con el trabajo de otros profesionales. Los objetos de la arquitectura son extremadamente complicados, en comparación con otros objetos que suelen diseñarse por medio de ordenador, sobre todo si se tiene en cuenta que muchos edificios suelen ser singulares, es decir, que sólo se construyen una vez. Un automóvil o un avión son indudablemente complicados, pero van a ser producidos en grandes cantidades, lo que no impone limitaciones especiales de tiempo y esfuerzo para su introducción en el ordenador. El diseño de uno de estos objetos puede superar perfectamente el coste de una unidad producida del mismo. El arquitecto tiene que ser mucho más eficiente, y de hecho lo es habitualmente. Su coste por proyecto es un pequeño porcentaje del coste de fabricación del edificio y las herramientas que utiliza deben ser igualmente eficaces.

Incluso cuando los ingenieros diseñan piezas singulares, como un puente o una presa, el presupuesto por elemento diseñado es muy superior al correspondiente a un edificio, por lo que el coste de diseño tampoco es crítico. Por ejemplo, el coste de cada soporte de un puente justifica mucho tiempo de cálculo y optimización, y además un puente tiene un número muy reducido de soportes. Por el contrario, en un proyecto de arquitectura pueden existir cientos de soportes, todos distintos, que van a ser construidos por personal relativamente poco especializado y poco controlado. La simplicidad de su diseño es más importante que la optimización de sus condiciones resistentes. Esto justifica, por ejemplo, que los arquitectos diseñen soportes o incluso vigas con simetría bilateral (un aparente despilfarro de acero), lo que exige herramientas de diseño con este mismo tipo de criterios prácticos.

En resumen, los programas de arquitectura deben estar preparados para manejar grandes cantidades de información, lo que constituye uno de los cuellos de botella más importantes en los sistemas actuales. Por el contrario, los componentes de la arquitectura suelen tener una geometría relativamente sencilla, por lo que las herramientas sofisticadas para el modelado de objetos industriales, como las líneas y superficies curvas genéricas (curvas de Bezier, *splines, patches,* etcétera) son generalmente superfluas.

Como conclusión lógica, los programas de ayuda a la representación de arquitectura deben tener unos recursos cuidadosamente orientados a la construcción. No cabe ya la utilización de progra-

mas desarrollados para otras tecnologías. Puede plantearse la duda de si ciertos tipos de arquitectura —pensemos en Félix Candela, Bruce Goff o Santiago Calatrava— pueden quedar excluidos de estos programas. Pero, en el peor de los casos, siempre puede recurrirse ocasionalmente a otros sistemas más genéricos.

Maquetas vacías y 2 1/2 D

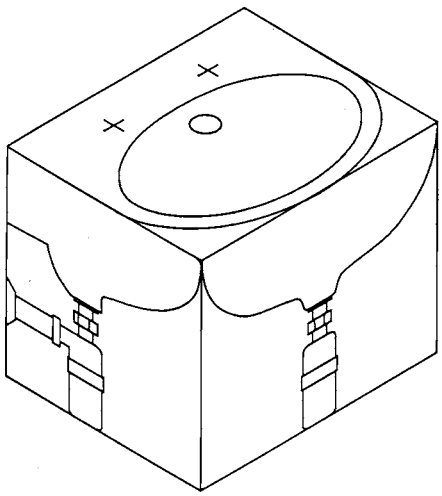
Todos los programas de modelado contienen la información necesaria para describir la geometría del modelo. Además, y dado que el tratamiento del color se da por supuesto en los ordenadores actuales, la geometría lleva casi siempre añadidos los datos necesarios para la representación de colores lisos y, en los programas más avanzados, texturas capaces de diferenciar unos materiales y otros. Esta información es suficiente para obtener perspectivas y comprobar el efecto del proyecto, y con este objetivo se utilizan diferentes programas de visualización por muchos arquitectos.

Los modelos necesarios para automatizar el dibujo de los restantes documentos del proyecto necesitan una mayor riqueza en información. Los modelos que se quedan en el nivel de la geometría no dejan de ser *maquetas vacías,* con una funcionalidad limitada. De hecho, suelen ser utilizados en programas de propósito general, desarrollados en origen para la visualización de modelos industriales. Sin embargo, los arquitectos no viven sólo ni fundamentalmente de imágenes. Los elementos de los modelos utilizados para la arquitectura deben contener también grafismos de línea, o *vectoriales,* suficientes para automatizar su representación en planta, alzado y sección.

Quienes usan programas de dibujo sentirán la necesidad contraria: que los elementos que utilizan tengan la información tridimensional, de materiales y texturas que ahora les falta. Son dos maneras de llegar al mismo destino. (En cualquier caso, conviene aclarar que las ideas que se describen a continuación se refieren sobre todo a los programas de diseño o proyecto asistido, y que se recogen como deseos, pues no están implantadas de forma exhaustiva en ningún programa comercializado actualmente. No obstante, algunas ideas pueden encontrarse incluso en los programas de dibujo más avanzados.)

Todos los programas de dibujo disponen de elementos de repetición que suelen denominarse 'símbolos' o 'bloques' y que se almacenan en bibliotecas o 'plantillas'. Los elementos más evolucionados a los que nos referimos ahora, y que podemos denominar 'componentes', contienen información en tres dimensiones, aunque organizada de forma que se simplifique su definición y su utilización en las tres proyecciones fundamentales.

Los componentes pueden comprenderse fácilmente si se imagina un cubo cuyo lado fuera la unidad y que tuviera adosado a cada



59. Los componentes denominados 2 1/2 D son paralelepípedos con proyecciones dibujadas en sus caras, de modo que su apariencia es correcta en plantas, alzados y secciones ortogonales, pero no en axonometrías y perspectivas.

cara (tanto exterior como interiormente) el grafismo adecuado a la vista correspondiente. El programa es capaz de adaptar este elemento unitario o 'muestra' a piezas reales de dimensiones y proporciones cualesquiera.

La definición primera de cada componente no es tan sencilla como la construcción de un símbolo; requiere una cierta planificación, debido a la necesidad de prever su comportamiento en piezas reales de diferentes dimensiones. Algunos de los sistemas permiten incluso definir grafismos alternativos, con lo que planos solicitados para diferentes escalas contienen de forma automática el grado de detalle correspondiente.

Puesto que los componentes no tienen una descripción tridimensional completa del elemento, la representación es enteramente correcta sólo si el elemento es macizo como un muro o si la proyección es ortogonal. Si el componente se refiere a un objeto con relieve, como un aparato sanitario, no es posible utilizarlo para la obtención de perspectivas, puesto que se verían las caras en escorzo y no el verdadero volumen (figura 59).

Esta disposición ha sugerido para este tipo de programas el ambiguo nombre de sistemas de dos dimensiones y media (2 1/2 D). Sin embargo, esta limitación es más teórica que real, porque la mayoría de los componentes de la arquitectura —cubiertas, forjados, muros—, excepto los aparatos sanitarios y los muebles, tienen representaciones aceptables en dos dimensiones y media, y pocas veces el arquitecto necesita obtener perspectivas interiores. Por otra parte, siempre que sea necesario se pueden incorporar verdaderos elementos en tres dimensiones.

La tridimensionalidad exhaustiva, por su parte, no es una solución del todo correcta para el modelado infográfico de la arquitec-

tura. En muchos elementos habituales de un proyecto no se gana nada considerándolos como sólidos tridimensionales, y muchas veces se llega a situaciones de solución imposible. Por ejemplo, los arquitectos representan las puertas en planta como si estuvieran abiertas, mientras que en alzado aparecen siempre cerradas. Un programa que obligue a modelar las puertas como sólidos exigirá al proyectista una decisión difícil de tomar: la de colocar la puerta abierta, en cuyo caso no se verá en los alzados, o cerrada, con lo que se perderá una valiosa información para la planta. De hecho, toda una primera generación de programas falló por no tener en cuenta el comportamiento simbólico de la geometría de la arquitectura [véase Charles M. Eastman, «Modeling of Buildings...»].

Modelos integrados

El atractivo del modelado y la visualización por ordenador hace olvidar incluso a los arquitectos más prácticos que el proyecto de arquitectura es mucho más que la definición de volúmenes, espacios y colores. Para definir y construir un proyecto hace falta más que su geometría. Hay que especificar materiales, detalles y procesos de construcción, calcular las estructuras y las instalaciones, evaluar los costes y comprobar el cumplimiento del cometido del edificio y de la normativa.

El objeto de la arquitectura —el edificio— existe a la vez en varios niveles diferentes. Unos elementos son significativos por su aportación a la definición del espacio, mientras que otros lo son por su composición constructiva, por su valoración, por sus implicaciones técnicas o legales o por sus exigencias de representación y, a veces, por todos los aspectos al mismo tiempo. Para que sea una verdadera herramienta de trabajo, el modelo del edificio debe recoger tanta información útil como sea posible dentro de estos múltiples niveles. Se podría hablar así de diferentes modelos que coexisten o se alimentan de un modelo principal. Entre ellos, por lo menos, pueden existir los siguientes:

— El modelo *estático* del edificio, que idealiza su comportamiento desde el punto de vista del cálculo de estructuras. En este modelo intervienen todos los elementos que tienen función resistente, como muros, soportes o forjados, así como otros muchos que no la tienen, pero necesitan ser soportados y pesan. Esto da lugar a nuevos elementos, sólo necesarios para este modelo, como las sobrecargas de uso, y otros tan poéticos como la nieve o el viento del norte.

— El modelo *ambiental,* usado para el cálculo de instalaciones, en el que deben constar todos los elementos que delimitan o separan espacios exteriores e interiores, con sus propiedades higrotérmicas y la definición de locales y zonas de uso, así como las redes de suministro de fluidos y energía, y que requerirá también la incorpo-

ración de los ocupantes para el cálculo de renovaciones de aire y cargas térmicas.

— El modelo de *simulación,* necesario en algunos tipos de edificios de tecnología avanzada o de usos especiales —como museos, aeropuertos o locales de reunión—, y que puede utilizarse para comprobar por adelantado el funcionamiento correcto del edificio, el cumplimiento de la normativa o las condiciones de evacuación.

— El modelo del edificio *terminado (as built),* que se usará para gestionar la explotación del proyecto durante su vida útil, incluyendo el mantenimiento y conservación y la realización de modificaciones y reorganizaciones internas ('rearquitectura' o *facilities management),* y cada vez más solicitado a los arquitectos por parte de clientes con alto grado de exigencia.

Sin embargo, no se deben extraer conclusiones precipitadas sobre la integración. La experiencia demuestra, por una parte, la dificultad de conseguir grados elevados de coexistencia entre tecnologías diferentes y, por otra, la dificultad práctica de utilización de los sistemas integrados, cuando técnicamente han llegado a conseguirse.

Por ejemplo, los programas de diseño de arquitectura que son capaces de generar o agilizar la redacción de mediciones detalladas fracasan porque son personas diferentes (y a veces organizaciones diferentes) las responsables del dibujo y del presupuesto. Las decisiones que hay que tomar para obtener un presupuesto adecuado son diferentes de las necesarias para completar el dibujo del proyecto. No son, naturalmente, decisiones contradictorias: un muro dibujado de ladrillo se presupuesta de ladrillo. Pero sí son de otro orden, se toman en momentos diferentes y tienen niveles diferentes de detalle. Incluso necesitan tipos diferentes de ordenador. Por tanto, los intentos de aproximar ambas actividades, técnicamente posibles, no llegan a funcionar adecuadamente.

Además, la actual teoría estratégica de los 'intervalos de decisión' sugiere dejar unos puntos muy delimitados de intervención manual en la secuencia de desarrollo de cada proceso (o proyecto, en este caso), donde se corrobora lo hecho y se reconduce lo que queda por hacer. En el mismo ejemplo de las mediciones, el técnico que presupuesta se basa en lo dibujado, pero modifica algunas de las decisiones que se encuentra, al tiempo que concreta muchos puntos que hasta ese momento eran irrelevantes. La integración entre ambas tareas acumularía en un único técnico una responsabilidad abrumadora. Por ejemplo, si se desea obtener una medición automática adecuada, el dibujante del ejemplo tendría que elegir cada componente y cada símbolo utilizado con extremada precisión, no sólo por su grafismo, sino por sus implicaciones posteriores.

Desde el punto de vista informático, en algunos casos estos modelos serán facetas de un modelo único, en el que, como ahora se

hace con las capas de los dibujos, se podrán activar o desactivar informaciones no relevantes: «veamos ahora la estructura» o «presenta sólo los esquemas de zonas, superficies útiles y dedicaciones». Otra posibilidad es que se desarrollen modelos específicos independientes, con formatos de intercambio entre unos y otros, de manera que los profesionales se intercambien los esquemas básicos, pero cada uno mantenga el control y la propiedad de su modelo.

La situación a la que se llegue dependerá de los intereses y posibilidades de los profesionales respectivos, más que de la evolución de la tecnología informática, que no tiene preferencias por unos sistemas u otros. Esto determinará si la integración beneficiará o no directamente al arquitecto y también cómo afectará a su relación con los restantes profesionales que intervienen o colaboran en el proyecto.

El proyecto 'asistido'

No conviene olvidar que resulta mucho más económico generar información escrita que dibujar; es algo que deberíamos aprender de los arquitectos norteamericanos. Si se aprovechase la introducción de la informática en los estudios de arquitectura para aproximarse a esta actitud, en los proyectos debería aumentar el tiempo dedicado a la parte literaria, como los presupuestos y, sobre todo, los pliegos de condiciones, reduciéndose en contrapartida el esfuerzo invertido en el dibujo de planos.

Mediciones y presupuestos

Empezando por la obtención de presupuestos, y hechas las salvedades anteriores sobre las dificultades de una integración tomada como un mito, la automatización de las mediciones se puede conseguir bastante bien a partir de la información contenida en un modelo de arquitectura. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

— no todo lo que está en un modelo de arquitectura se mide: por ejemplo, los muebles;

— algunos objetos del modelo se miden porque estaban y ya no están: por ejemplo, el terreno que ha sido vaciado o las zanjas;

— algunos elementos del proyecto se miden, pero no están en el modelo, como los ensayos de control o las medidas de seguridad e higiene.

Estos inconvenientes son muy difíciles de salvar para los programas de dibujo, que tienen una representación muy limitada del proyecto. Pero son también difíciles de llevar a la práctica en los programas de diseño, sobre todo porque muchos elementos del proyecto tienen criterios de medición difíciles de obtener del mode-

lo tridimensional, como las escaleras (losa, formación de peldaños, solado, zanquines, etcétera) o los acabados (pinturas, zócalos y demás). Es decir, no existe una relación unívoca entre elemento del proyecto y unidad de obra, por lo que es necesario establecer mecanismos más o menos automáticos que salven esta falta de congruencia.

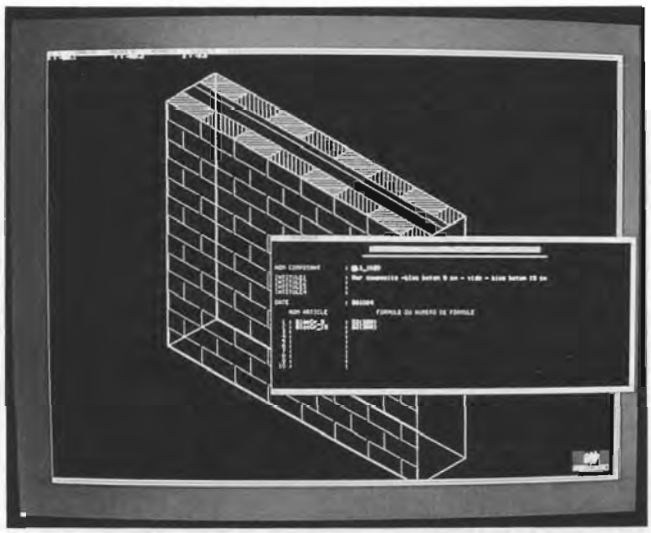
El perfeccionamiento de los métodos automáticos de medición exige también la simplificación de la forma de medir de los arquitectos españoles, que se diferencia de los de otros países en dos cuestiones: el excesivo grado de detalle de la descomposición y la asignación de precios a los proyectos.

Estas dos diferencias están relacionadas, puesto que la necesidad de asignar precios a los proyectos estimula la realización de descomposiciones muy detalladas. La utilización de unidades de medición de nivel demasiado bajo, alentada por muchas bases de datos de las llamadas 'oficiales', debe ser sustituida progresivamente por el uso de conjuntos constructivos completos, más fáciles de asignar a elementos del proyecto y más sencillos de medir, puesto que generan menor número de partidas diferentes y también menos piezas (líneas de medición). Por ejemplo, la costumbre de medir por separado cada capa de un muro —hoja exterior, aislante, hoja interior, revestimientos, etcétera— puede ser sustituida por la creación de unidades de muro completas.

Para ello deben generarse bases de datos jerárquicas, de donde los arquitectos puedan tomar la información al nivel requerido de detalle en cada caso. Con la terminología del Institut de la Construcció de Catalunya (ITEC) —que ha realizado una importante investigación sobre este tema—, una base de datos jerárquica podría contener partidas, elementos constructivos simples o elementos constructivos completos, que se usarían en función de las necesidades de cada proyecto.

La automatización permite también la creación de unidades de medición paramétricas, que se adaptan especialmente bien a los proyectos realizados por ordenador. Una unidad paramétrica consiste en un conjunto de reglas que describen la formación de múltiples unidades de obra parecidas, cada una de las cuales responde a una cierta combinación de valores. Por ejemplo, se puede escribir una unidad paramétrica que recoja todas las posibles ventanas de dos hojas, donde los parámetros son el material —aluminio, PVC, madera, acero, etcétera—, el tipo de cristal —normal, doble, aislante— y las dimensiones moduladas de longitud y altura.

La preparación de bases de datos paramétricas para la construcción —como la realizada por el Instituto Valenciano de la Edificación para la Comunidad Autónoma de Madrid— es un importante avance para el proyecto asistido porque facilita la asignación auto-



60. El muro de la imagen está definido por sus características gráficas y constructivas, lo que facilitará su posterior medición a efectos del cálculo del presupuesto.

mática de unidades de obra a componentes del modelo. En el ejemplo de la ventana, puede aplicarse una misma unidad paramétrica a todos los componentes del proyecto que sean 'ventana de dos hojas', con independencia de las dimensiones geométricas y del material que se vaya a utilizar. Esto simplifica extraordinariamente el trabajo del delineante, que no necesita tomar decisiones por adelantado, y permite que otro técnico especializado añada posteriormente la información constructiva más detallada.

El concepto de unidades de obra paramétricas está tan vinculado al proyecto asistido que se considera que una familia de partidas tradicionales es susceptible de reunirse en un único elemento paramétrico si todas comparten un mismo grafismo, sin considerar simples variaciones dimensionales. Estas unidades paramétricas, por tanto, pueden acabar convergiendo en el futuro con los componentes que hemos definido más arriba, si se les dota de grafismos adecuados, de forma que las decisiones constructivas y la representación gráfica se apoyen en un modelo y una terminología común (figura 60).

Pliegos de condiciones

La curiosa actitud respecto al pliego de condiciones por parte de los arquitectos españoles —para quienes, dentro de la fobia ya citada por los documentos escritos, se trata de un requisito engorroso e inútil— no sólo tiene las consecuencias que son de imaginar en la ejecución de los proyectos, sino que obliga a los propios arquitectos a emplear muchas horas de dibujo y rotulación para definir en los planos lo que normalmente debería reflejarse por escrito. (Aunque, para no faltar a la verdad, hay que reconocer que lo que los arqui-

tectos de otros países incluyen en el pliego de condiciones los españoles lo escriben en la descripción y descomposición de las partidas del presupuesto.)

El pliego de condiciones puede recuperar su papel como documento básico para la definición técnica del proyecto si se valora la facilidad con que los ordenadores realizan el tratamiento de la información escrita, en contraposición a la potencia necesaria para el trabajo gráfico. Prescindiendo de la técnica local, en la que el pliego de condiciones se redacta exclusivamente con la ayuda de una fotocopiadora, existen varias filosofías de automatización de este tipo de documentos.

— *Pliego de condiciones extraído del presupuesto.* Se considera, en este caso, que el pliego de condiciones se deduce de la información contenida en las mediciones del proyecto. Por tanto, una vez automatizado este proceso, como hemos visto en el epígrafe anterior, todo es cuestión de generar a partir de él una extensión, en la que se describen con más detalle las condiciones de ejecución, control, etcétera. El pliego de condiciones, por tanto, carece de relación directa con el modelo infográfico del proyecto. Este enfoque tiene la virtud de asociar el pliego de condiciones al presupuesto, haciéndolo más fácil de aceptar por los arquitectos. Existen, a su vez, variaciones de este esquema; algunos programas asocian apartados de pliegos de condiciones uno por uno a cada partida —al modo de las Normas Tecnológicas de la Edificación, NTE—, y otros prefieren extraer los pliegos particulares a partir de un pliego maestro o general, en función de las características del proyecto.

— *Especificaciones.* El pliego de condiciones al estilo norteamericano no consta de párrafos tipo, sino de descripciones detalladas de los materiales y calidades de la obra. Cualitativamente, se parece a lo que aquí se denomina 'memoria'. Es decir, no refleja cómo ejecutar lo definido en otros documentos, sino que contiene todas aquellas decisiones del proyecto previas a los planos o que no figuran en ellos. Las versiones informatizadas son muy complejas, acercándose a verdaderos 'sistemas expertos'. Algunos de estos sistemas contienen tal cantidad de información sobre materiales y procesos constructivos que se suministran en discos CD-ROM.

Entidades inteligentes

Los modelos de ordenador son, al menos en principio, tanto más útiles cuanto más se aproximan las entidades que utilizan a las que desea manejar el usuario. Un modelo donde no hay más entidad que la recta simple es incómodo para dibujar muros, puesto que el delineante ha de dibujar sucesivamente las dos líneas que los definen en planta. Si posteriormente quiere modificar o desplazar el muro, debe realizar el cambio dos veces. Un modelo que admita

una entidad 'línea doble' será más útil, puesto que basta con dibujar una de las caras, o bien la directriz, para que el programa automáticamente dibuje la otra, transmitiendo también automáticamente los cambios. Esto es un ejemplo de lo que —con el abuso de la terminología que caracteriza la informática— se llama una 'entidad inteligente'.

Este nivel de inteligencia puede elevarse más. Un sistema más avanzado puede entender el muro como un elemento en tres dimensiones, con espesor y altura, con cámaras de aire o subdivisiones internas definibles y otras propiedades. El usuario de este sistema se limita a definir los puntos inicial y final y el programa completa las restantes líneas, obteniendo la representación en volumen cuando haga falta. El programa puede ir aún más lejos, cuando además reconoce las conexiones entre muros, de forma que el desplazamiento de un muro implica el movimiento automático de los demás muros que estén conectados en los extremos, o cuando controla la vinculación entre la cara superior de las columnas y el techo que apoya sobre ellas.

La definición del nivel de inteligencia adecuado determina las posibilidades del programa. Pero no debe pensarse que lo mejor es disponer, sin más, del mayor nivel de inteligencia posible.

Las entidades inteligentes multiplican la productividad, pero pueden dar lugar a modelos poco flexibles, ya que el comportamiento de la entidad ha sido definido por el programador y no se le pueden pedir diferencias en casos particulares. Por ejemplo, si el muro que hemos dibujado como entidad inteligente se encuentra con un soporte embebido, se da una situación de conflicto; o bien el programa reconoce esta situación y adapta por sí solo el tramo adecuado del muro, o bien es imposible modificar el muro manualmente.

Para entender mejor este concepto —que es de suponer que será más importante en el futuro—, cabría diferenciar dos tipos de inteligencia en los programas de arquitectura: inteligencia *pasiva* e inteligencia *activa*.

La inteligencia *pasiva* tiene que ver con la riqueza en propiedades de las primitivas y las entidades que maneja el programa. La inteligencia *activa* consiste en la existencia de procesos automáticos, que el programa puede aplicar cuando se le pide o sin que se le soliciten expresamente.

Esto se puede comprender mejor si lo aplicamos a los sistemas de acotación. Todos los programas acotan. Algunos programas realizan las diversas líneas de la cota y rotulan la medida correspondiente, pero todos estos elementos quedan desvinculados. Es posible, por ejemplo, borrar una línea testigo de manera aislada y, además, si se modifica el elemento al que se aplicó la cota, el valor de ésta no

cambia. Esto es un ejemplo de la diferencia que ya hemos comentado entre comandos y primitivas.

Un segundo tipo de programas considera la cota como una primitiva. Una vez dibujada, todos sus elementos sufren la misma suerte; no se puede borrar uno de sus segmentos por separado. Si se modifica la longitud de la línea de cota, por ejemplo, el valor cambia adecuadamente. Pero si cambia el objeto acotado (por ejemplo, la longitud de un muro), la cota no varía. Es necesario indicarle expresamente que se adapte o bien hay que realizar las modificaciones de tal forma que afecten directamente a la propia cota. Esto es un ejemplo de inteligencia pasiva.

Algunos programas disponen de un sistema de acotación tal que cualquier modificación del objeto asociado repercute directamente en la geometría y en el valor de la cota, sin que el usuario tenga que adoptar ninguna precaución o pedirlo expresamente. Esta propiedad se llama 'asociatividad'; el objeto y sus cotas quedan totalmente vinculados, de forma que las variaciones del primero repercuten sin intervención del usuario en las segundas. Esto es un ejemplo de inteligencia activa, ya que el programa necesita estar *pendiente* de las modificaciones realizadas en cada momento para actuar adecuadamente.

Por último, cabría hablar de una inteligencia activa 'fuerte', en la que el propio programa sería capaz de acotar por sí solo el proyecto entero a partir de unos criterios generales dados por el usuario, y de readaptar todo el sistema de cotas en función de sus modificaciones posteriores.

Se han propuesto algunos modelos de ordenador dotados de un alto nivel de inteligencia para la descripción de la arquitectura. En estos sistemas el programa puede llegar a entender muchas clases de elementos del edificio, como forjados, escaleras o cubiertas, pero es difícil que permita operaciones flexibles con ellos. Es posible que se llegue a avanzar mucho por este camino, pero también hay que tener una enorme prudencia con los automatismos, ya que tienden a introducir decisiones no deseadas y a implantar el concepto de arquitectura debido a quien diseñó el programa y no al arquitecto que lo usa.

Si un modelo de ordenador es capaz de entender el sistema estructural del edificio y de realizar simulaciones interactivas de su comportamiento estático, habría que suspender la gravedad mientras se trabaja con el modelo —suponemos que existirá esta opción— o bien poner apeos mientras el modelo no esté terminado. Si, por error, se activase la gravedad mientras estamos sustituyendo un soporte por otro, el edificio se nos vendría abajo. Y, caso de trabajar en un ciberespacio con retroalimentación (véase el capítulo siguiente) podría llegar incluso a pillarnos la mano.

El hiperproyecto

Uno de los tópicos informáticos de los últimos años ha sido el de la oficina sin papel y, como caso particular, el de los proyectos sin papel.

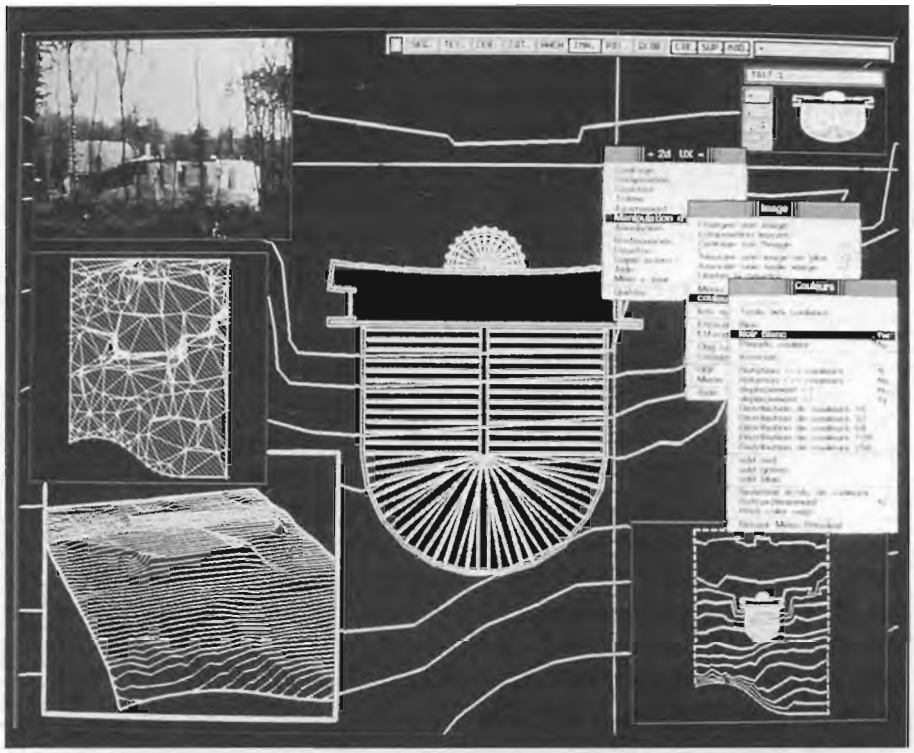
Con ellos, el proyectista, el cliente y el constructor podrían intercambiar los planos del proyecto a través de las redes telefónicas o de soportes magnéticos, y consultar directamente, o incluso simultáneamente, a través de una pantalla. No resulta muy difícil pensar que en un próximo futuro en las obras no habrá planos de papel, sino otro ordenador con toda la información necesaria para construir un edificio, que sólo se extraerá en el momento preciso en que sea requerida. Así no harán falta grandes trazadores de planos DIN A0, sino que bastará con una simple impresora gráfica que permita obtener copias DIN A3. Dicha información podrá ser actualizada permanentemente y de un modo inmediato por parte del director de la obra, ya sea desde la propia obra o desde el estudio, a través de la línea telefónica.

Se supone así que la difusión de la informática llegará a hacer innecesario el traspaso de la información a medios exteriores al ordenador. De momento, la situación es justamente la contraria. Todos los analistas coinciden en el enorme aumento de la cantidad de papel que se ha generado a medida que se difundían las impresoras láser y los trazadores. Esto no debe sorprendernos, ya que el ordenador facilita enormemente la reproducción de la información (por no insistir una vez más en que los ordenadores no corrigen los documentos, sino que prefieren imprimirlos enteros de nuevo).

Por tanto, una implantación trivial de esta suposición no parece muy inmediata. Sin embargo, se puede imaginar bastante bien cómo serán los proyectos de tercera generación, ya que existen sistemas técnicos actuales muy sugerentes, como los *hiperdocumentos.*

Un hiperdocumento es un conjunto de información estructurada de forma que el usuario no puede recorrerla linealmente, sino que consta de diferentes tipos de datos relacionados, en diferentes formatos, a través de los cuales se puede desplazar el usuario mediante múltiples puntos de paso.

Para verlo con un ejemplo, imaginemos que en la pantalla aparece el plano de situación de un proyecto. Tocando con el cursor un punto en el exterior del edificio, aparece una ventana en la que el programa dibuja una perspectiva desde el punto que hemos marcado. Si tocamos en el interior, el plano es sustituido por otro, a diferente escala, que muestra la planta baja. Tocando un muro aparece un tratamiento de textos con los párrafos del pliego de condiciones relativos al muro. A su vez, marcando un término técnico del pliego aparece una definición del mismo o una hoja de cálculo con un detalle de su coste.



61. Un antecedente de lo que pronto será el hiperproyecto: un solo documento infográfico con informaciones que se podrán obtener en pantalla de un modo interactivo.

La infraestructura informática del hiperdocumento ya existe, y posiblemente algún proyecto de arquitectura ha sido ya presentado de esta forma. Por supuesto, los documentos se seguirán transfiriendo a papel, dado que es un medio cómodo para visualizarlos y barato para almacenarlos. Sin embargo, el hiperdocumento puede tener también sonidos: voces que explican el plano, que leen un documento o, simplemente, música. También puede contener fotografías reales o imágenes de vídeo del entorno del proyecto, representaciones hiperrealistas, imágenes estéreo o algunos minutos de animación (figura 61).

Si vamos más lejos, podemos imaginar que el programa, puesto que dispone de un modelo completo del edificio, genera cada plano a medida que lo solicitamos. Aunque parece absurdo que las plantas no estén predibujadas, es fácil darse cuenta de que no todas las secciones pueden haber sido calculadas, de la misma forma que el número de perspectivas es ilimitado. Además, los ordenadores cada vez tardarán menos en calcular estos documentos y será más habitual que los preparen sobre la marcha. Pensemos también que esto puede suceder con los documentos escritos. El pliego de condiciones puede no existir como tal, sino que el programa busca en un texto maestro, común a todos los proyectos, los párrafos que mejor

describen la zona marcada en este *hiperproyecto*. El presupuesto se recalcula sobre la marcha, en función de la zona encuadrada con el cursor, y los detalles constructivos se toman, a partir de referencias contenidas en el modelo, de una base de datos gráfica común a todos los proyectos.

Hemos llegado a un proyecto que no existe como tal. Nadie ha visto el proyecto completo, porque no se pueden ver todas las representaciones posibles. No existe un orden en el que el proyecto pudiera ser dibujado o impreso (¿cuántos detalles constructivos incluir, cuántas secciones o perspectivas?). De hecho, cada constructor necesitaría comprobar diferentes detalles constructivos y nada podría sustituir la respuesta inmediata y flexible del ordenador. Éste sí que es un proyecto sin papel. Un verdadero hiperproyecto es como una superficie alabeada: no puede traspasarse al papel manteniendo su integridad.

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

CAPÍTULO 6

LA ARQUITECTURA INFOGRÁFICA

Presente y futuro

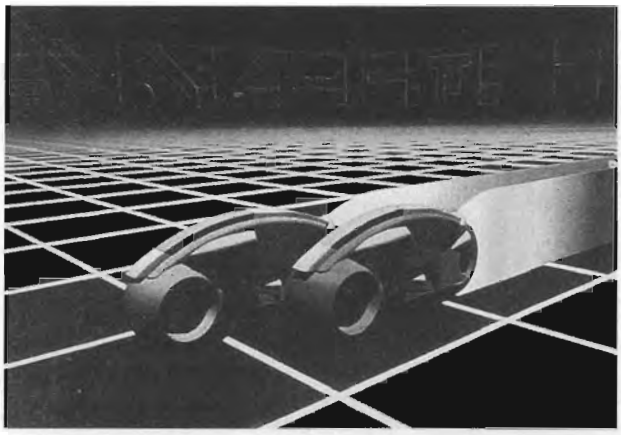
Si en el siglo XIX el progreso técnico cambió la faz de la Tierra en tan sólo unas décadas, la segunda mitad del siglo XX ha visto el desarrollo tecnológico más veloz de la historia de la humanidad. La informática gráfica aún no ha cumplido los treinta años y ya está a punto de crear su propio mundo virtual en el que los seres humanos podrán vivir experiencias cuya única realidad será el efecto que produzca sobre nuestros sentidos. Estos nuevos medios de representación ponen en manos del arquitecto la posibilidad de controlar más efectivamente sus proyectos, y es posible que su influencia empiece a notarse a medida que su uso se vaya generalizando. El siglo XXI será testigo del desarrollo de la arquitectura infográfica.

Realidad virtual y ciberespacio

Actualmente hay decenas de sistemas de CAD que permiten diseñar, construir y experimentar *visualmente* los espacios arquitectónicos a través de la pantalla del ordenador. Se pueden rodear, sobrevolar y atravesar, pero sin entrar realmente en ellos: es como un *videoclip* del espacio proyectado.

Pero el penúltimo paso ya se ha dado, y estamos en el umbral de lo que será una auténtica experiencia directa, casi real y en primera persona de un espacio que no existe más que en los circuitos de los ordenadores. Algo muy parecido a lo que se supone que será el futuro ya está aquí: es la *realidad virtual* y su producto más espectacular, el *ciberespacio.*

El padre del término 'ciberespacio' es el novelista norteamericano William Gibson, quien en su libro *Neuromancer* lo describía como «una alucinación consensual experimentada diariamente por miles de millones de operadores legítimos en todas y cada una de las naciones; por niños a los que se les enseñan conceptos matemáticos... Una representación gráfica de datos abstraídos de las bases de todos y cada uno de los ordenadores del sistema humano. Una complejidad impensable. Líneas de luz dispuestas en el *no-espacio* de



62. Fotograma de *Tron* (1985), película de Walt Disney en la que se visualiza un hipotético espacio infográfico habitable.

la mente, agrupaciones y constelaciones de datos. Como las luces de la ciudad, alejándose...». Si alguien no llega a imaginárselo, debería ver *Tron*, la película de Disney que nos anticipó cómo sería eso de habitar mundos electrónicos (figura 62).

Pero volvamos al mundo real. El interés estratégico de los sistemas de realidad virtual es evidente. De hecho, su origen tecnológico son los simuladores de vuelo, especialmente de aviones militares. No es de extrañar, por tanto, que los pioneros del desarrollo y del perfeccionamiento del ciberespacio hayan sido la NASA, las Fuerzas Aéreas norteamericanas e instituciones del prestigio del Massachusetts Institute of Technology.

Las posibles aplicaciones del ciberespacio son de lo más diverso. En sus inicios, las previsiones eran bastante optimistas. Se pensaba que se podrían crear espacios virtuales para realizar cualquier actividad, seria o de evasión. A medida que se han ido conociendo sus limitaciones técnicas y sus exigencias en términos de potencia y velocidad de cálculo, las ilusiones se han desvanecido un tanto.

Pero, ¿qué es el ciberespacio? En pocas palabras, es un espacio tridimensional creado virtualmente por un ordenador, al que nosotros podemos *entrar* y en el que podemos *actuar* mediante una serie de dispositivos que transmiten información directamente hacia y desde nuestros cinco sentidos. Se crea, pues, una 'realidad virtual' que existe sólo en la memoria del procesador y en nuestra imaginación, pero que se puede experimentar personalmente (figura 63).

Para poder acceder a estos ciberespacios es necesario un sistema informático que incluya tanto aparatos como programas. Los segundos son de gran complejidad, y los primeros tienen una componente lúdica que merece la pena resaltar. Aparte de los consabidos ordenadores, el equipo consta de un casco —con una minipantalla para cada ojo y un auricular para cada oído— que lleva además

63. Mediante los sistemas de realidad virtual *(izquierda)*, el actor puede mirar y tocar objetos situados en el ciberespacio, aunque las imágenes que ve todavía tienen muy poca definición *(derecha)*.

unos *sensores* que controlan el movimiento de la cabeza, de modo que el ordenador conoce la dirección en que está mirando en cada momento el espectador.

Se puede uno imaginar el funcionamiento. El ordenador presenta en cada minipantalla una imagen de alta resolución —diferente para cada ojo, con el fin de conseguir la visión estéreo— del espacio imaginario tal y como se vería desde la posición ocupada por el espectador. Si el usuario gira la cabeza, cambia también la perspectiva de la imagen que está viendo. El operador puede utilizar un guante lleno de sensores que informan al ordenador de la posición de su mano. Esto le permite tocar y coger los objetos *virtuales* existentes en el ciberespacio.

Ya se vislumbra la posibilidad de que este guante crezca hasta convertirse en un 'traje de datos' que comunique nuestros movimientos reales al mundo virtual. Mientras tanto, nuestros pasos se pueden transmitir por medio de una 'plataforma rodante', a modo de las que se usan para caminar y correr en los gimnasios. A todo ello podríamos añadir otros artilugios más tradicionales, como *joysticks,* teclados, ratones, volantes, bicicletas, etcétera, que también servirían para comunicarnos con el *más allá* ciberespacial.

Todos estos *gadgets* que transmiten información del mundo real al virtual se llaman *sensores,* mientras que los *efectores* lo hacen en sentido inverso. Para muchas actividades prácticas es necesario disponer de retroalimentación cinestésica. Por ejemplo, si el operador está en un simulador de conducción o pilotaje, el efecto de los mandos sobre sus manos es fundamental para tomar las decisiones correctas. Sin retroalimentación se pierde la sensibilidad y, si se trata de controlar mediante una herramienta un dispositivo delicado, como una pinza para recoger huevos, lo más probable es que acaben todos convertidos en tortilla.

El ciberproyecto

En arquitectura, la aplicación más sencilla de la realidad virtual sería la de recorrer *personalmente* un edificio cuando aún se halla en la fase de proyecto. Desde un punto de vista teórico la solución es sencilla: se introduce un modelo tridimensional de CAD en un sistema de realidad virtual y se obtiene un ciberespacio arquitectónico. Luego nos ponemos el casco y el 'traje de datos' y emprendemos nuestro viaje virtual. Puede que en el camino no sólo nos encontremos escaleras, puertas y columnas, sino que tal vez por algún rincón aparezca otro *cibernauta* que está recorriendo el mismo mundo virtual que nosotros.

Todos los avances en los sistemas de representación han tenido una importancia trascendental para la arquitectura. La perspectiva, la fotografía, el cine y, más recientemente, la infografía han supuesto nuevas maneras de visualizar los edificios. Pero el ciberespacio no es sólo una herramienta de visualización. El espacio virtual puede dar origen a nuevas e interesantes maneras de realizar un proyecto: lo que podríamos denominar el 'ciberproyecto'.

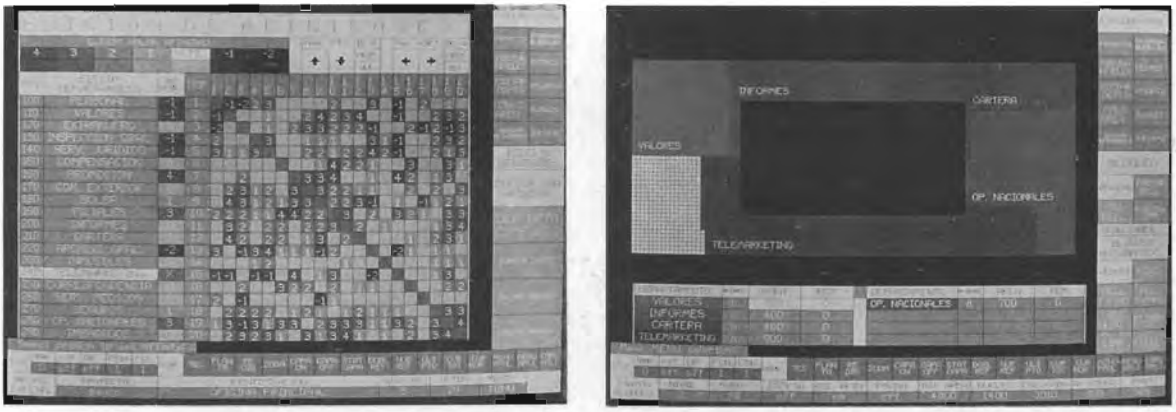
En un futuro no muy lejano, es previsible que el arquitecto intervenga desde el principio y directamente en la construcción del modelo dentro del ciberespacio, con mecanismos de visualización realista continuamente activados y con acciones del tipo 'orientado a objeto'. Por ejemplo, el arquitecto que quiera construir una pared sólo tiene que tomar una muestra de pared del almacén de muros virtuales y depositarla en su sitio del proyecto, con sus dimensiones reales. De la misma forma, puede desplazarla sencillamente empujándola con la mano enfundada en el guante electrónico. También puede inclinar una cubierta, agrandar un hueco, alargar una columna o situar los aparatos sanitarios eligiéndolos de una *ciberplantilla.*

El proyecto se transforma así en una simulación de la construcción. Invitando al cliente a entrar en el ciberespacio, ambos podrían comentar los cambios a realizar en el proyecto, e incluso realizarlos sobre la marcha para ver como quedarían. Por último, se puede pensar en un ciberproyecto que cumpla su función sin necesidad de ser construido como, por ejemplo, un museo virtual o un escenario para una película.

Inteligencia artificial y sistemas expertos

La definición restringida de inteligencia que hemos comentado en el capítulo anterior es la que se usa normalmente en las aplicaciones gráficas de los ordenadores. Sin embargo, el concepto general de 'inteligencia artificial' es diferente, y conviene aclarar cuáles son sus posibilidades y sus limitaciones para la arquitectura.

Una definición muy acertada sería decir que la inteligencia artificial es «todo aquello que los ordenadores todavía no saben reali-



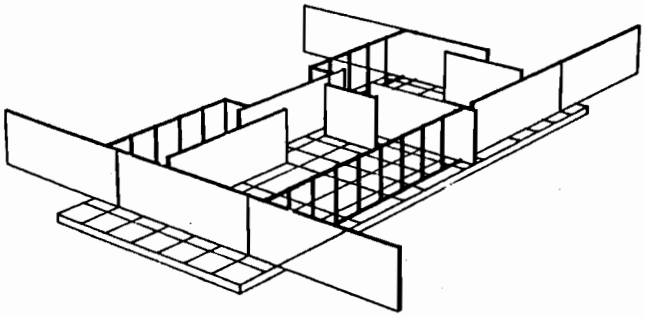
64. Algunos sistemas expertos permiten hacer distribuciones esquemáticas de locales *(derecha)*, después de haber rellenado una tabla de doble entrada con los valores de las relaciones entre cada uno de los espacios *(izquierda)*.

zar». Todo lo que los ordenadores ya saben hacer va recibiendo otros nombres más específicos: teoría de juegos, lógica difusa, reconocimiento fonético del habla, etcétera.

Una de las aplicaciones concretas de la inteligencia artificial consiste en los denominados 'sistemas expertos'. Desde el punto de vista de su utilidad, un sistema experto considera problemas cuyas soluciones no se deben a la aplicación de condiciones lógicas o expresiones matemáticas exactas, sino a reglas incompletas, incluso contradictorias, que se aplican a situaciones difíciles de cuantificar. En palabras conocidas para los arquitectos, se trata de problemas en los que el número de incógnitas no coincide con el de ecuaciones.

Este escenario se parece a las situaciones en que habitualmente se desenvuelven los seres humanos, muy diferentes del mundo determinado y cerrado del ordenador. Es decir, se trata de afrontar los problemas usando el mismo método que las personas. La diferencia enorme entre el rendimiento del cerebro humano y el de los ordenadores en este tipo de lógica no definida hace que sólo se haya resuelto y comercializado un escaso número de sistemas expertos, generalmente alejados del mundo de la arquitectura.

Algunos de los problemas que se intentaron resolver en primer lugar mediante sistemas expertos han ido recibiendo soluciones algorítmicas (es decir, con programas tradicionales), como el diseño óptimo de escaleras o la obtención de la distribución de espacios en planta más adecuada para satisfacer determinadas condiciones de contigüidad. Este caso es interesante. Para calcular el diseño óptimo de un grupo de espacios se rellena una tabla de doble entrada en la que se escriben valoraciones positivas o negativas para la relación entre cada pareja de espacios, en función de su uso respectivo. Existen algoritmos capaces de preparar una planta esquemática en la que se han tratado de satisfacer estas condiciones de la mejor manera posible (figura 64).



65. Gerhard Schmitt, diseño residencial elaborado con un *generador* de arquitectura de 'estilo' Mies van der Rohe.

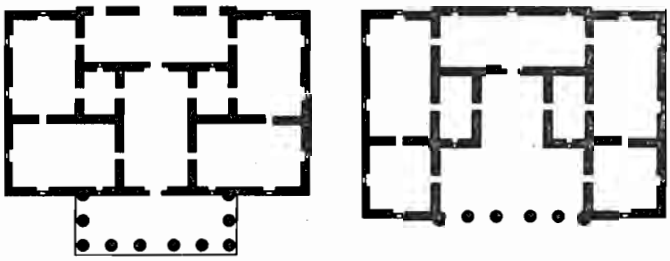
No obstante, es difícil que este tipo de programas sean capaces de obtener mejores soluciones de las que obtendría el operador humano, incluso aunque el tratamiento matemático del problema sea excelente. Tony Reynolds, en *Computing for Architects,* cuenta que utilizó una vez uno de estos programas para distribuir un hospital de forma que se minimizasen las circulaciones. El ordenador situó el mortuorio junto a las salas geriátricas, debido —acertadamente, en función de la información que se le había introducido— al tráfico que se generaba entre ambos puntos.

Decisiones y comprobaciones

La pretensión de las ideas anteriores no es provocar la desmoralización con respecto a las posibilidades reales del proyecto informatizado de arquitectura, sino explicar el fracaso de los intentos precipitados de automatizar el proceso de decisión a partir de una profundización insuficiente en la actividad del proyecto.

Esta sospecha se apoya, entre otras cosas, en la falta de formalización de los procedimientos que ingenuamente se pretende automatizar. Mientras la normativa de incendios, la teoría de la acústica o la ordenanza municipal no estén escritas como un conjunto normalizado de reglas —cosa que probablemente no ocurrirá en los próximos cincuenta años—, es difícil pensar en que un proceso algorítmico —que es lo que saben hacer los ordenadores— sea capaz de encontrar mejoras o deficiencias en el modelo tridimensional de un proyecto real [véase Gero, «An Overview of Knowledge Engineering...»].

Por tanto, hay que valorar con mucha prudencia las expectativas demasiado optimistas sobre la próxima aparición de programas de ayuda al proyecto como tal. Más que hacia la toma de decisiones por parte del ordenador, el desarrollo de los programas de arquitectura en los próximos años deberá orientarse en tres direcciones: 1, a la definición más adecuada de primitivas, entidades y componentes para los modelos de arquitectura; 2, al establecimiento de relaciones *inteligentes* entre los elementos, en el sentido limitado del capítulo



66. William Mitchell, dos nuevas villas creadas según la gramática del estilo arquitectónico de Palladio.

Villa Hollywood *Villa Vine*

anterior y siempre controladas por el operador; y 3, en el caso más avanzado, a la aparición de operadores o *agentes,* con misiones concretas y activados por el usuario, que realicen en el modelo una comprobación muy determinada o que ejecuten tareas concretas.

Poéticas por ordenador

Como acabamos de exponer, los ordenadores se desenvuelven mejor allí donde existen reglas fijas y procedimientos formalizados. Uno de los usos más interesantes y didácticos de los ordenadores es la búsqueda de las posibles leyes que gobiernan determinados estilos arquitectónicos o que definen los rasgos de los proyectos de ciertos arquitectos muy característicos.

Uno de los ejemplos más conocidos es el trabajo de Koning y Eizenberg. Estos autores desarrollaron en 1981 un conjunto de 99 reglas que, aplicadas en un cierto orden, generaban casas en el estilo de las Prairie Houses de Frank Lloyd Wright [véase su artículo «The Language of the Prairie...»]. Cada regla parte de la situación anterior y modifica el diseño añadiendo algún elemento. Por ejemplo, una regla sugiere que, en caso de existir un rincón, puede añadirse una terraza con determinadas proporciones. Unas reglas son obligatorias y otras opcionales; todas dejan cierta libertad en tamaños y proporciones.

Por sorprendente que resulte, los modelos obtenidos realmente parecen casas de Wright, al menos tanto como las que podría crear manualmente un arquitecto habilidoso y entendido en el tema. Podría decirse que esta serie de reglas ha captado la particular poética o manera de hacer que Wright aplicó en estos proyectos y que describen el verdadero espíritu de las casas de la pradera. Gerhard Schmitt ha realizado experiencias semejantes con modelos residenciales de Mies van der Rohe y de Richard Meier (figura 65), y William Mitchell, en *The Logic of Architecture,* plantea posibilidades parecidas con Durand y Palladio, para cuyas villas llega a dar 72 reglas concretas de formación (figura 66). Aunque pueda desagradar a los puristas, algunos temas habituales de la tratadística clásica, como los

órdenes, pueden llegar a disponer muy pronto de sistemas de reglas que los definan completamente. Una poética de este tipo sería un estilo completamente *reglado.* Un proyecto o una parte de un proyecto es una variedad ortodoxa de un estilo *reglado* si es posible generarlo mediante la aplicación sucesiva de determinada combinación de su conjunto de reglas.

Sin embargo, antes de permitir que los mitómanos del ordenador lancen las campanas al vuelo, hay que tener en cuenta la doble limitación de la generación de proyectos mediante sistemas de reglas; a saber: ni están todos los que son ni son todos los que están. Por una parte —como ha señalado Mitchell— el problema de los universos creados con sistemas de reglas es que están demasiado *poblados.* Puesto que el operador siempre tiene cierta libertad en su aplicación, con las mismas reglas con las que se crean 'casas de la pradera' se pueden crear también muchos proyectos *patológicos,* irreconocibles o inhabitables. Una cosa son las soluciones *posibles* y otra las soluciones *viables.* Por otra parte —como demuestra el teorema de Gödel refiriéndose a los sistemas lógicos [véase Nagel y Neuman, «La demostración de Gödel»]—, podrían existir verdaderas 'casas de la pradera' que no se obtuvieran nunca a partir de conjuntos correctos de reglas, por más combinaciones que se generasen manual o automáticamente. Es decir, probablemente las casas Robie, Willets o Baker jamás saldrían por la pantalla del ordenador. Por lo que, durante los próximos decenios, estas ideas difícilmente traspasarán el ámbito académico.

Modelización del territorio

Vistas las posibilidades de los ordenadores y los programas actuales, hay quien ha imaginado un futuro cercano en el que ciudades y regiones enteras lleguen a estar modelizadas en el ordenador, de forma que se disponga de información, puesta al día e inmediatamente accesible, sobre infraestructuras, estado de las construcciones o normativa de planeamiento. Los ordenadores en sí tienen capacidad de sobra para servir de base al desarrollo técnico de esta idea, aunque la magnitud de la tarea de introducción de datos y, especialmente, de la actualización de la información es inevitablemente subestimada. Este modelo permitiría algunos resultados interesantes, como facilitar la visualización de los proyectos en relación con su entorno —puesto que los arquitectos podrían *adquirir* el modelo digital de la zona situada alrededor del emplazamiento— y, presumiblemente, agilizaría la realización del planeamiento, la concesión de licencias, la gestión de la cartografía y la localización de todo tipo de servicios (figura 67).

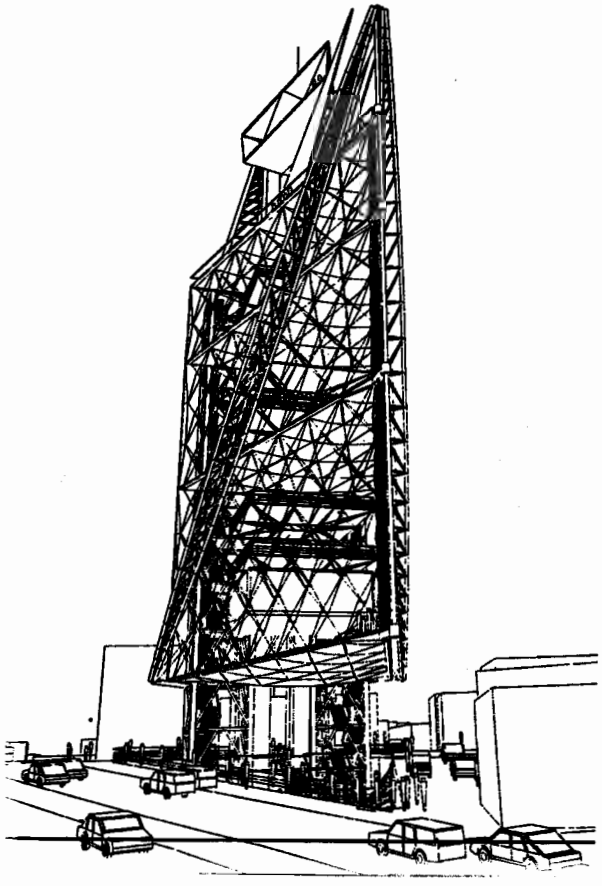
Sin embargo, quienes sueñan con un mundo reproducido en el ordenador suelen ir más allá y se imaginan una serie de bases de

67. Las bases de datos territoriales pretenden integrar en un solo modelo infográfico distintas informaciones sobre el patrimonio arquitectónico, la situación urbanística o las estadísticas económicas o demográficas.

datos relacionadas, donde la información geométrica estuviese vinculada con todo tipo de datos de los habitantes: personales, municipales o incluso fiscales. Por ejemplo, la primera condición de diseño de la base de datos municipal de Madrid es, ni más ni menos, la siguiente: «Debe reproducir la ciudad miméticamente, con toda su complejidad, su casuística y diversidad, así como toda la evolución de la misma desde su creación hasta su sustitución, con todas las modificaciones intermedias» [COAM, *La utilización del ordenador en el planeamiento...*].

Esta integración —que se justifica por razones de eficacia o control del fraude, y que empieza inocentemente por la representación de la arquitectura y acaba en el control total de los movimientos de la población— puede ser extremadamente peligrosa. La información es poder, y la concentración de información se parece mucho al poder absoluto. Con independencia de las intenciones de quienes promueven este uso del ordenador, la multiplicidad, el solapamiento y, dentro de unos límites, la discordancia de los depósitos de información es una de las mejores garantías para preservar la libertad y la seguridad del individuo, mientras que la planificación y la centralización tienden a ser sinónimos de totalitarismo e ineficacia.

Por tanto —y aunque parezca ajeno al tema de la infografía—,

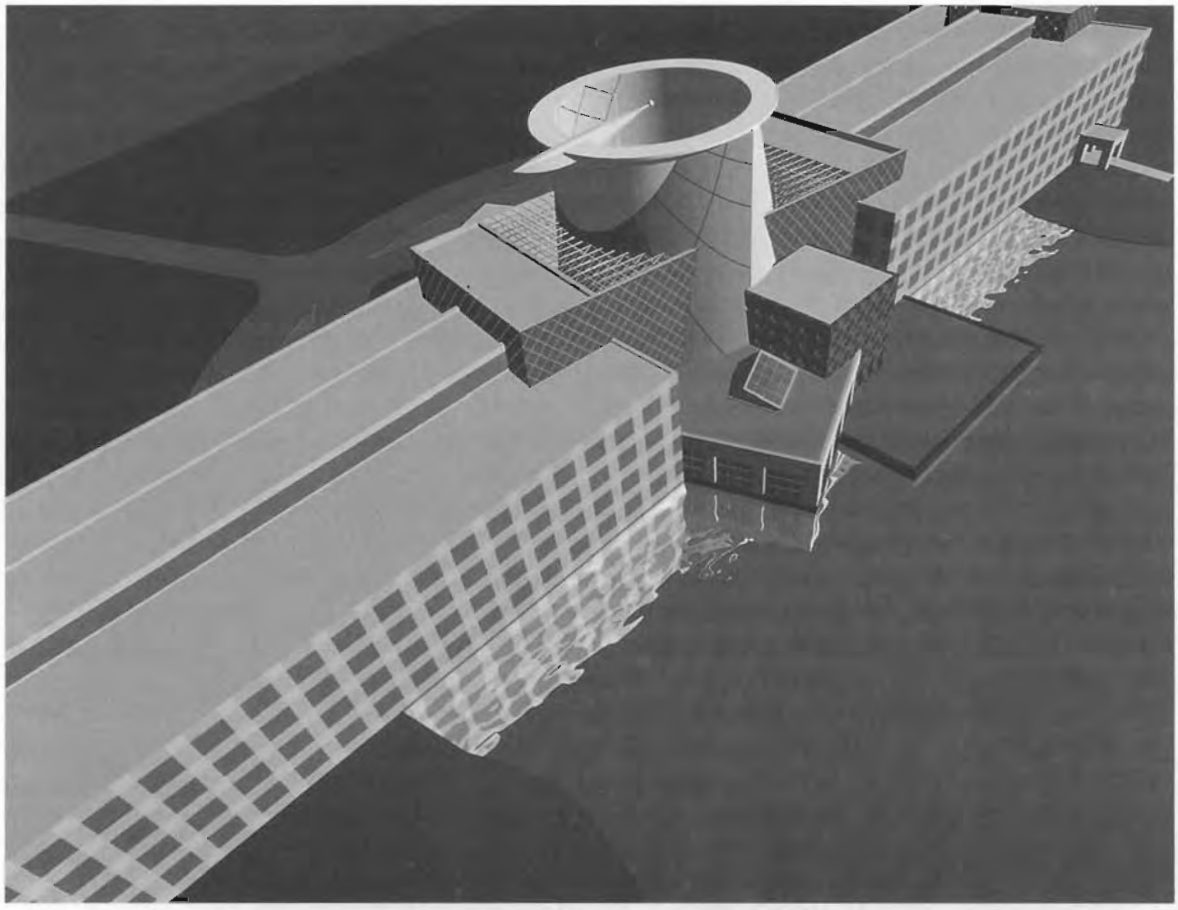


68. Richard Rogers Partnership, perspectiva del proyecto para la torre K1, Tomigaya, Tokio, 1991.

aprovechamos para insistir en la utilización razonable de la capacidad de la informática, sin olvidar la enorme riqueza y complejidad del mundo real. Sólo pequeñas zonas o propiedades simplificadas de la realidad pueden introducirse en el ordenador. La búsqueda de un modelo exhaustivo —apoyado en la arquitectura y extendido a las personas que la habitan— es, en nuestra opinión, una búsqueda perjudicial.

¿Una nueva arquitectura?

Siempre que se produce una nueva revolución en los instrumentos que están en manos de los arquitectos surge la duda de si las nuevas herramientas tendrán una influencia decisiva en la propia creación arquitectónica o bien se limitarán a mejorar o simplemente a modificar las condiciones de trabajo de los estudios. Se cuenta que Paul



69. Arata Isozaki & Associates, vista aérea del edificio de oficinas del Walt Disney World, Orlando, Florida, 1987-1991.

Rudolph, al proyectar la escuela de arquitectura de la universidad de Yale, y obsesionado por el control total sobre su diseño, obligó a sus alumnos a realizar innumerables perspectivas desde diferentes puntos de vista. El resultado del proceso no fue otra cosa que un proyecto más de Paul Rudolph. Esto mismo ha ocurrido con otros arquitectos actuales que han utilizado el ordenador como Rudolph utilizaba a sus alumnos: no parece que el ordenador por sí solo mejore ni disminuya la capacidad de diseño.

'High tech' o posmoderno

Si se supera una fase inicial en la que el ordenador impone una cierta rigidez o estimula el abuso de ciertos recursos —de la misma forma en que la aparición de las escuadras de ángulo variable propició gran cantidad de proyectos con tramas cruzadas de forma inverosímil—, no parece que el diseño informatizado vaya a dar lugar a un diseño especial. En cualquier caso, las explicaciones simplistas

no suelen ser demasiado acertadas. Hay quien piensa que el ordenador permite una mayor libertad formal o cierto experimentalismo, debido a la variedad de herramientas para definir la geometría, con las que se pueden imaginar proyectos bien alejados de la ortogonalidad y de la modulación que son convenientes para el dibujo manual. La necesidad de la construcción del proyecto supone, naturalmente, un importante límite a lo que se puede proyectar, por más que lo permita la herramienta de dibujo, aunque, para compensar, nuevas herramientas de cálculo pueden permitir nuevas formas o mayores tamaños.

Por el contrario, otros, como Oriol Bohigas, han sugerido que es la arquitectura repetitiva y modular, como la *high tech,* la que resulta más beneficiada por el uso del ordenador (figura 68 y láminas XX y XXI). Es evidente que el ordenador se adapta mejor a la arquitectura moderna que a la modelización de los órdenes clásicos o a la geometría del periodo barroco. El tipo de arquitectura que mejor encaja en el ordenador se podría deducir de los ejemplos utilizados en la publicidad de las casas comerciales, en la suposición de que se eligen al tiempo por su facilidad de introducción y porque expresan bien las posibilidades de los sistemas. Si se acepta esta idea, la arquitectura más *fotogénica* desde el punto de vista infográfico sería la arquitectura posmoderna, debido a su tratamiento interesante y variado de volúmenes realizados a partir de sólidos sencillos y a su poco interés por las propiedades superficiales de los materiales (figura 69 y lámina XIX). La arquitectura *high tech,* a pesar de la opinión de Bohigas, es demasiado aburrida para el ordenador.

En cualquier caso, es pronto para saber si el ordenador tendrá alguna influencia directa en el tipo de arquitectura que se proyecta, pues ésta es mucho más sensible a los cambios culturales o sociales. Puede que el mayor efecto de la informatización tenga que ver más bien con cambios en la manera de ejercer la profesión y en la estructura de los estudios.

Una nueva artesanía profesional

En efecto, la primera fase de la implantación de los ordenadores hacía pensar en unas herramientas costosas, sólo al alcance de unos pocos. Esto hizo surgir muchas críticas, ante la sospecha de la creación de una nueva élite y el levantamiento de una importante barrera al acceso de nuevos profesionales al mercado de proyectos. Se suponía que sólo las grandes organizaciones, como los *consultings* y los centros de cálculo, podrían permitirse tener un ordenador, lo que discriminaría a los arquitectos individuales o a los pequeños estudios.

Como otras muchas tecnologías del siglo XX, el abaratamiento de los ordenadores ha permitido disipar estas dudas. Un arquitecto

puede adquirir un sistema informático razonable, tanto si trabaja solo como si está en una gran organización, y la posesión del ordenador no implica por tanto una situación de ventaja inalcanzable.

Alguien podría pensar, incluso, que el aumento de productividad que provoca un ordenador, junto con la capacidad de afrontar nuevas tareas (desde las perspectivas al cálculo de estructuras o a la facilidad para la reproducción de planos), puede producir un nuevo tipo de arquitecto autosuficiente que realice los proyectos por completo, desde el momento inicial del desarrollo hasta la entrega del último documento. Si así fuera —puede que ya existan arquitectos que se enfrenten de este modo a los proyectos—, estaríamos ante un nuevo tipo de artesanía, dado que el arquitecto sería el responsable intelectual y manual del proyecto, de principio a fin, que es lo que caracteriza el trabajo del artesano. Aunque algunos teóricos estrictos, como Paola Manacorda, opinan que sólo cabe hablar de artesanía con el ordenador si uno programa en código máquina, ya que en otro caso hay demasiados sistemas interpuestos entre el creador y el producto final [*El ordenador del capital,* pp. 88 ss.], un arquitecto sentado ante los controles de su ordenador, con programas adecuados, puede realmente llegar a sentirse como único responsable de la concepción, definición y delineación de un proyecto completo.

Alas y hélices

La forma de realizar los proyectos cambiará progresivamente, sin ninguna duda, aunque hay que ser extremadamente prudentes con las previsiones sobre cambios revolucionarios. La etapa actual de la informática no es más que una pequeña anticipación de lo que ocurrirá durante el verdadero siglo del ordenador: el siglo XXI. Como en todas las tecnologías, la fase de reorganización profunda para aprovechar del todo las posibilidades del ordenador —que anteriormente hemos denominado como 'reingeniería de la arquitectura'— está casi por empezar.

Al igual que el hombre no consiguió hacer despegar objetos más pesados que el aire hasta que sustituyó el batir de las alas por la hélice —inventando así un concepto que no existía en la naturaleza—, puede que los arquitectos estén aún por descubrir una manera de hacer edificios completamente distinta. Puede que falte todavía un enfoque radical e innovador, que se consiga cierta formalización de algunas de las tareas del proyecto, que los hiperdocumentos o el ciberespacio sustituyan por completo a la representación de la arquitectura o, incluso, que una enorme máquina de estereolitografía, controlada por el mismo ordenador del arquitecto, haga innecesario el trabajo de los constructores. Lo que podemos prometer es que los cambios no han hecho más que empezar.

No queremos concluir, a pesar de todo, sin recordar que una

capacidad avanzada de representación y percepción puede ir en dirección contraria de la capacidad de creación y de descripción objetiva de la arquitectura. Como aquellas perspectivas de Helmut Jacoby que tanto partido sacaban de los edificios más lamentables, las nuevas tecnologías del ordenador pueden dar lugar a un nuevo *beaux-artismo,* generando unas imágenes en las que la realidad sea superada con mucho por el arte.

Cuando en algunas presentaciones de programas se comenta que determinado proyecto ha sido introducido en el ordenador para 'comprobar el impacto ambiental', uno, al ver las imágenes, muchas veces tiene la sensación de que naturalmente el proyecto ha sido desestimado. Pero la seducción enorme de la informática hace que este sentimiento no sea general y que todos los resultados del ordenador se acepten de manera muy poco crítica.

Decía el matemático francés Henri Poincaré que la geometría era el arte de razonar bien con dibujos mal hechos. Aunque el efectismo no es privativo del ordenador, el arquitecto tiene el reto y el objetivo moral de usar esta herramienta tan potente intentando que nunca se pueda aplicar a su trabajo la idea de Poincaré enunciada a la inversa: arquitectura, el arte de razonar mal con unos dibujos excelentes.

CONCLUSIÓN

¿Va a producir el ordenador un cambio histórico en el dibujo de arquitectura? Probablemente sí, pero no sólo en sus aspectos estilísticos (es decir, formales y técnicos), sino fundamentalmente en su concepción como modo de representar la arquitectura.

El dibujo arquitectónico ha tenido siempre una gran inercia estilística; al menos siempre ha evolucionado con más lentitud que el estilo de la arquitectura que representaba. Esta *inercia gráfica* hace que los periodos homogéneos del dibujo de arquitectura sean más amplios que los de la propia arquitectura.

Pero si es difícil hablar de un dibujo *renacentista* por oposición a otro *barroco* comparando exclusivamente sus características gráficas, seguramente será muy fácil distinguir una imagen *infográfica* de otra que no lo sea, atendiendo única y exclusivamente a su estilo, es decir, al conjunto formado por los aspectos formales y técnicos de su representación.

Lo que es casi seguro es que el cambio fundamental no se producirá sólo en la apariencia de los dibujos, sino en su propia esencia y, por consiguiente, en la pertinencia o no de que sigan existiendo tal como los conocemos hoy en día. En efecto —como ya hemos reiterado—, es la propia idea de la representación gráfica sobre un soporte físico bidimensional lo que el sistema infográfico está poniendo en duda.

En las cuestiones referentes a la creación, transmisión, almacenamiento y reutilización de la información —en nuestro caso *gráfica* y *de arquitectura*—, el soporte magnético tiene indudables ventajas sobre el papel. Y en la definición de tales informaciones para usos concretos —por ejemplo, construir un edificio—, la pantalla permite trabajar fácilmente a diversas escalas con una disponibilidad y flexibilidad mucho mayor que la que ofrecen unos planos fijos y *degradables*. Sin embargo, no es fácil imaginar que el papel pierda su puesto primordial como vehículo de comunicación de información gráfica, ni tampoco que desaparezca por completo.

Y este eventual cambio de estilo gráfico, ¿producirá a su vez un cambio en el estilo arquitectónico? ¿Será la arquitectura proyectada por ordenador estilísticamente distinta a la proyectada por métodos tradicionales?

Ya hemos mencionado que las ventajas que ofrece la infografía con respecto al trazado geométrico hacen posible la representación

de cualquier objeto arquitectónico, por complicado que sea, en todos y cada uno de los sistemas de proyección. Esto no implica necesariamente que vayan a aparecer de pronto arquitecturas de formas geométricas complicadas o compuestas por múltiples intersecciones de figuras o cuerpos complejos. Pero, al menos, ya no se podrá poner la excusa de la dificultad de la representación como justificación de una arquitectura volumétrica y espacialmente insulsa.

Tampoco se puede desechar la posibilidad de que el ordenador ejerza una influencia clara y patente sobre los usos, las formas y las técnicas de la arquitectura. El paralelo, a efectos únicamente comparativos, podría ser la revolución que produjo en las ideas arquitectónicas el descubrimiento de un sistema de proyección y representación como la perspectiva, a la vez racional e intuitivo. A partir de Brunelleschi y Alberti, la forma de dibujar determinó en buena medida la composición volumétrico-espacial de la arquitectura renacentista y barroca.

Ahora estamos ante un cambio importante no sólo en la mera forma de dibujar, sino en el propio método de concebir los objetos arquitectónicos. No sería de extrañar que dicho cambio produjera importantes modificaciones en la estructura profunda de la creación arquitectónica. Pero anticipar cuáles serán esas modificaciones sería algo más adivinatorio que científico.

LISTA DE PROGRAMAS

3D Studio
Tipo: 3D, modelado, retoque y animación, vídeo.
Distribuidor: Autodesk S.A., Constitución 3, planta baja, 08960 Sant Just Desvern, Barcelona, tel (93) 473 33 36, fax ... 52.

AcadGraph-BitMap
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Arquitectura Acad Studio, S.L., Plaza Molina 8, 08006 Barcelona, tel (93) 415 53 27, fax 238 23 48.
Conexiones: DXF.
Observaciones: Basado en AutoCad.

AES
Tipo: 2D+3D, modelado, presentación.
Sistema: IBM 6150, RS/6000, PS/2 bajo AIX.
Fabricante: Skidmore, Owings and Merrill.
Distribuidor: IBM España, Paseo de la Castellana 4, 28046 Madrid, tel (91) 397 60 00, fax 519 39 87.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: Diseñado por la famosa firma de arquitectos SOM para IBM.

AGS
Tipo: 2D+3D.
Sistema: VMS, Sun, Primos.
Distribuidor: Prime Computer España, S.A., Gobelas 17, La Florida, 28023 Madrid, tel (91) 372 82 50, fax 372 95 59.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: Basado en el programa genérico Medusa (véase más adelante).

Animator
Tipo: 2D, diseño, retoque y animación.
Distribuidor: Autodesk S.A., Constitución 3, planta baja, 08960 Sant Just Desvern, Barcelona, tel (93) 473 33 36, fax ... 52
Observaciones: Hay versión Professional.

Arc+
Tipo: 2D+3D, presentación (CAD Render), animación (Video Show).
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Sig España, José Picón 9 bajo, 28028 Madrid, tel (91) 255 78 61.
Conexiones: DXF, FIS (formato estándar de presupuestos).

ArchiCad
Tipo: 2D+3D, presentación, animación y vídeo.
Sistema: Mac.
Distribuidor: TSI Tecnologías y Sistemas de Información, Vía Augusta 48-54, 08006 Barcelona, tel (93) 415 71 32, fax ... 72 34.
Conexiones: DXF, PICT, Mac.

Architrion
Tipo: 3D+2D.
Sistema: MS-DOS, Mac.
Distribuidor: Para PC/PS: Tecsing, Gran Vía 56, 28013 Madrid, tel (91) 532 21 66, fax 559 03 83; para Mac: Distribuidores de Apple Computer.
Conexiones: DXF, ASCII, hoja de cálculo.

ArkiCad
Tipo: 2D+3D.
Sistema: los de AutoCad.
Fabricante y distribuidor: ArkiCad, Plaza de España 18 (Torre de Madrid, pl.14, pta 2), 28008 Madrid, tel 248 20 06 - 247 11 49, fax 248 20 05.
Conexiones: DXF.
Observaciones: Basado en AutoCad

ArkteCad
Tipo: 3D+2D, generador de planos y mediciones.
Sistema: HP-Windows sobre HP-UX.
Fabricante y distribuidor: Arktec, Estébanez Calderón 5, 28020 Madrid, tels (91) 571 03 86 / 04 43, fax ... 55 44.
Conexiones: GEST-UX.

Arq3D
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS.
Fabricante y distribuidor: Arquing Proyectos, Paseo de la Estación 25, 23008 Jaén, tel (953) 25 64 09, fax 22 00 86.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: Basado en AutoCad.

ArquiCad
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS.
Fabricante y distribuidor: Softronics, Avenida de La Coruña 62, 28230 Las Rozas (Madrid), tel (91) 637 21 14, fax ... 22 82.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: Basado en AutoCad.

Arris
Tipo: 2D+3D, retoque (AriCad), presentación (RenderPlus, MetaView), generador de mediciones (Alce).
Sistema: Xenix, IBM AIX, SGI, Sun, SCO, Dec.
Distribuidor: Soft, Santísima Trinidad 35, 28010 Madrid, tel (91) 448 33 62, fax ... 40 50.
Conexiones: DXF, FIS, GEM, HPGL Targa, Presto.

AutoArq
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS, Xenix, SCO, Sun, Mac.
Fabricante y distribuidor: Asicom, Castelló 23, 28001 Madrid, tel (91) 431 20 00 / 18 71, fax ... 18 14.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: Basado en AutoCad

AutoCad (datos de la versión 11)
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS (386 al menos), Mac, Dec, Sun, HP 9000.
Distribuidores: Autodesk S.A., Constitución 3, planta baja, E-08960 Sant Just Desvern, Barcelona, tel (93) 473 33 36, fax ... 52).
Conexiones: DXF.
Observaciones: No es específico para arquitectura, pero su concepción abierta le ha convertido en la base de muchos módulos especialmente desarrollados que se basan en él, como AcadGraphBitmap, ArkiCad, Arq3D, ArquiCad, AutoArq y DDCad.

AutoShade
Tipo: retoque.
Sistema: los de AutoCad.
Distribuidor: Autodesk S.A., Constitución 3, planta baja, E-08960 Sant Just Desvern, Barcelona, tel (93) 473 33 36, fax ... 52

AutoSketch
Tipo: 2D.
Sistema: los de AutoCad.
Distribuidor: Autodesk S.A., Constitución 3, planta baja, E-08960 Sant Just Desvern, Barcelona, tel (93) 473 33 36, fax ... 52.
Conexiones: DXF, SLD.

CadDy Arquitectura
Tipo: 2D+3D, modelado y presentación (RenderStar).
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: ABB Trafonor S.A., Barrio Galindo s/n, 48510 Valle de Trápaga, Vizcaya; dirección postal: Apartado de Correos 443, 48080 Bilbao, tel (94) 496 01 11 - 496 78 21 / 70 14, fax ... 44 61.
Conexiones: DXF, IGES, ASCII.

CadKey
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS, Sun, SGI.
Distribuidor: Fhecor, Pintor Juan Gris 5, 28020 Madrid, tel (91) 555 87 13 /50, fax ... 45 76.
Conexiones: IGES, DXF, CADL, ASCII.

CadRender
Tipo: 3D, presentación *(ray tracing)*.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Sig España, José Picón 9 bajo, 28028 Madrid, tel (91) 255 78 61.
Conexiones: DXF.

Catia
Tipo: 2D+3D, modelado.
Sistema: IBM 5080, IBM 6150.
Distribuidor: IBM España, Paseo de la Castellana 4, 28046 Madrid, tel (91) 397 60 00, fax 519 39 87.
Conexiones: VDAFS, IGES, CADAM, CAEDS, IUA, GII.

DataCad
Tipo: 2D+3D, modelado (Modeler), presentación (Velocity), auxiliares (Merge).
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Fhecor, Pintor Juan Gris 5, 28020 Madrid, tel (91) 555 87 13 /50, fax 555 45 76.
Conexiones: DXF, CadKey.

DDCad
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS, Unix (ver AutoCad).
Fabricante y distribuidor: AlCad; Espartero 13, 46007 Valencia, tel (96) 352 66 66, fax 351 83 83.
Conexiones: DXF, CYPE.
Observaciones: Basado en AutoCad.

DesignCad
Tipo: hay versiones 2D y 3D, pero son programas distintos.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: IC, Prim 4, 28770 Colmenar Viejo (Madrid), tel 91 845 01 62, fax ... 66.

Conexiones: ProDesign, IGES, DXF, GEM, PostScript, HPGL, ASCII.

Dibac
Tipo: 2D+3D, presentación (Topas y Lumena), estructuras, mediciones y presupuestos.
Sistema: MS-DOS.
Fabricante: Dibac, Columela 6, 28001 Madrid, tel (91) 431 76 24 / 576 10 81, fax 576 12 93.
Distribuidor: Compugraf, Guzmán el Bueno 135, 28003 Madrid, tel (91) 533 31 71, fax 534 99 85.
Conexiones: AutoCad.
Observaciones: Premio *PC World/España* al mejor programa español.

Dimensions
Tipo: 3D, presentación y animación.
Sistema: Mac.
Distribuidor: Impex, Arrieta 1-3, Pamplona, tel (948) 21 03 92 / 27 27 28.

Drafix Cad
Tipo: 2D.
Sistema: MS-DOS, Windows 3.0.
Distribuidor: Anaya Multimedia, Josefa Valcárcel 27, 28027 Madrid, tel (91) 320 01 19, fax 742 66 31.

Drawbase
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Fhecor, Pintor Juan Gris 5, 28020 Madrid, tel (91) 555 87 13 /50, fax ... 45 76.

DynaPerspective
Tipo: 3D, presentación y animación.
Sistema: Mac, MS-DOS, OS/2.
Distribuidor: Impex, Arrieta 1-3, Pamplona, tel (948) 21 03 92.

GDS
Tipo: 2D+3D, presentación y animación.
Sistema: Dec.
Distribuidor: McDonnell Douglas Sistemas Tecnológicos, General Perón 38, 28020 Madrid, tel (91) 556 52 64.
Conexiones: BIF, IGES, DXF, Intergraph.

Medusa
Tipo: 2D+3D.
Sistema: VMS, Sun, Primos.
Distribuidor: Prime Computer España, S.A., Gobelas 17, La Florida, 28023 Madrid, tel (91) 372 82 50, fax ... 95 59.
Observaciones: Es genérico, no específico para arquitectura, pero muy potente.

MicroCadAm
Tipo: 2 1/2 D, 3D, superficies NURBS.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Cad Tech Ibérica, General Yagüe 55, 28020 Madrid, tel (91) 571 35 48, fax 270 18 72.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: La versión profesional para IBM 6000 se llama Professional CadAm.

MicroStation
Tipo: 2D+3D, presentación (ModelView).
Sistema: Vax, Interact, MS-DOS (386 y 486), Mac.
Distribuidor: Intergraph España, Gobelas 47-49, La Florida, 28023 Madrid, tel (91) 372 80 17.
Conexiones: DXF, Targa, TIFF.
Observaciones: Es el programa del sistema Intergraph.

Mountain Top
Tipo: 2D+3D.
Sistema: IBM RS/6000, HP 9000 (300/400 y 700).
Distribuidor: Cronos Dao, Sagristans 9-11, 08002 Barcelona, tel (93) 302 32 99, fax 301 62 21.
Conexiones: DXF, IGES.

PC Bat
Tipo: 2D+3D, presentación y animación.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Gestió Informática SA, Paseo de Sant Joan 25, 08010 Barcelona, tel (93) 265 57 94.
Conexiones: DXF.

Personal Architect
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Club Informático, Orense 69, 28020 Madrid, tel (91) 571 90 05, fax ... 21 07.

Point Line
Tipo: 2D+3D, sólidos, presentación (Renderman).
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Techvisión, Valencia 245, 08007 Barcelona, tel (93) 487 11 33, fax ... 29 30.
Conexiones: DXF, Targa, AutoShade, AutoCad.
Observaciones: Hay una versión reducida que se llama Personal Point Line.

Professional CadAm
Tipo: 2 1/2 D, 3D, superficies NURBS.
Sistema: IBM RS/6000.
Distribuidor: Cad Tech Ibérica, General Yagüe

55, 28020 Madrid, tel (91) 571 35 48, fax 270 18 72.
Conexiones: DXF, IGES.
Observaciones: La versión reducida para PC se llama MicroCadAm.

RenderStar
Tipo: 2D+3D, retoque, presentación y animación.
Sistema: MS-DOS, Sun.
Distribuidor: Arquing Soft, Condes de Bustillo 5, 41010 Sevilla, tel (95) 434 35 05, fax ... 31 12.
Conexiones: DXF.

RoboBuild
Tipo: 2D+3D.
Sistema: MS-DOS.
Distribuidor: Evil Electrónica, Manacor 20, correspondencia: Apartado de correos 6047, 08080 Barcelona, tel (93) 211 69 68, fax ... 67 84.
Conexiones: RDF, DXF, HPG, IMG, PCX.
Observaciones: Es un módulo de un programa genérico llamado RoboCad.

Sonata
Tipo: 2D+3D, presentación y animación.
Sistema: SGI, HP 9000, IBM AIX.
Distribuidor: Fhecor, Pintor Juan Gris 5, 28020 Madrid, tel (91) 555 87 13 /50, fax ... 45 76.
Conexiones: DXF.

StarArchi (antes CadStar)
Tipo: 3D+2D, presentación, animación, mediciones, gestión de patrimonio.
Sistema: HP Apollo 400 y 700.
Distribuidor: ICT, Informática, Cálculo y Técnica, S.A., Gabriel Lobo 34, 28002 Madrid, tel (91) 564 21 01 / 20 95, fax ... 42 16.
Conexiones: DXF, IGES, ASCII, ISAM.

ToolPlan
Tipo: 2D+3D, presentación (ToolDesign).
Sistema: MS-DOS, Unix.
Distribuidor: Tool Ibérica S.A., Serrano 219, 28016 Madrid, tel (91) 457 22 15 / 458 67 70 / 458 66 47, fax 458 67 70.
Conexiones: DXF, IGES, ASCII.

WaveFront Personal Visualizer.
Tipo: 3D, retoque, presentación y animación.
Sistema: SGI, HP, Dec.
Distribuidor: CadScan España, Orense 6, 28020 Madrid, tel (91) 597 07 74, fax 554 51 38.
Conexiones: MOVIE.BYU, .OBJ (Wavefront), QuickModel, IGES, I-DEAS Solid Modelling (universal).
Observaciones: Forma parte de una familia que se llama Visualizer Series: Advanced, Personal, Data, Paint.

BIBLIOGRAFÍA

AA VV. *Virtual Reality: Theory, Practice and Promise.* Edición a cargo de Sandra K. Helsel y Judith Paris Roth, Meckler, Westport, Conn. / Londres, 1991; 143 pp.

ALEXANDER, Christopher. *Notes on the Synthesis of Form.* Harvard University Press, 1964. Versión castellana: *Ensayo sobre la síntesis de la forma,* Infinito, Buenos Aires, 1969; 222 pp.

—— «A Much Asked Question about Computers and Design». Conferencia pronunciada en la First Boston Architectural Center Conference el 5 de diciembre de 1964, y publicada en *Architecture and Computer,* Boston. Versión castellana: «Un tema muy solicitado: computadores y diseño»; en *La estructura del medio ambiente.* Tusquets, Barcelona, 1971; pp. 9-15.

ANAT Borges, Manuel, *et al. Curso sobre edificios inteligentes.* Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, 1989.

AOKI, Yoshitsugu, *et al.* «A Computer Aided Room Allocation Model With Concepts of Framableness and Flexible Conditions». Ponencia del X Congreso Trienal del CIB, International Council for Building Research, Studies and Documentation, Washington, 1986, volumen 1, pp. 11-18.

ARBOLÍ Ayala, Sebastián. «Análisis de la 'base de datos ciudad' (BDC) en el municipio de Madrid». En *La utilización del ordenador en el planeamiento urbano y territorial.* Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, 1988, pp. 133 ss.

BJÖRK, Bo-Christer; PENTTILÄ, Hannu. «The Integrated Use of Computer in Construction: The Finnish Experience». En las *Actas* de ARECDAO'87, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, abril 1987, pp. 18-21.

—— *Data Structures in Computer Aided Building Design.* Technical Research Centre of Finland, Laboratory of Urban Planning and Building Design, 1988; 75 pp.

BLIN, Pascale. «Image de synthèse: evaluation, conception, communication». *Techniques et architecture,* nº 397, agosto-septiembre 1991, pp. 113-120.

BLOOMENTHAL, Martin M. «Testing a Computerized Master Specification System». *Architecture,* abril 1989, pp. 107-109.

BRIGGS, J.; PEAT, F.D. *Espejo y reflejo: del caos al orden.* Gedisa, Barcelona, 1990, 222 pp.

BUTT, Thomas K. «How CADD Helped Restorations». *Architecture,* noviembre 1989, pp. 115-118.

CATÁLOGO. *Dibujar Madrid: análisis y propuestas gráficas sobre arquitectura madrileña.* Comunidad Autónoma de Madrid, Madrid, 1984.

CHAVES Cortes, Camila. «Artificial Intelligence in AEC». *Design Graphics World,* enero 1986, pp. 20-23.

COSTA, Felip; VALÈNCIA, Eladi. «Una base de dades amb estructura generadora d'elements constructius». En las *Actas* de ARECDAO'87, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, abril 1987, pp. 112-119.

CROSS, Nigel. «Impact of computers on the architectural design process». *The Architect's Journal,* 22 marzo 1972, pp. 623-628.

DEAN, Robert Paul. «Casting the Microcomputer in the Role of Specifications Expert». *Architecture,* abril 1989, pp. 105-106.

DE RUBERTIS, Roberto. *Computer Graphics: ricerche ed applicazioni del Laboratorio di Disegno Automatico.* Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo dell'Università di Roma «La Sapienza», Roma, 1985; 69 pp.

—— *Il disegno dello spazio.* Kappa, Roma, 1976; 200 pp.

—— *Il disegno elettronico: uso del minicomputer nella rappresentazione grafica.* Kappa, Roma, 1979; 69 pp.

DEKEN, Joseph. *Computer Images: State of the Art.* Stewart, Tabori & Chang Publishers, Nueva York, 1983; 200 pp.

DIVEKAR, Sandeep. «High-End, Low-Cost Architectural Visualization». *Microcad News,* junio 1991, pp. 54-55.

DREW, Philip. *Die Dritte Generation: Architektur zwischen Produkt und Prozess.* Verlag Gerd Hatje, Stuttgart, 1972. Versión castellana: *Tercera generación: la significación cambiante de la arquitectura;* Gustavo Gili, Barcelona, 1973; 176 pp.

EARLE JR., Daniel W. «Three Dimensional Representation of Plants in Landscape Design». *Macintosh Aided Design,* junio 1990, pp. 20-26.

EASTMAN, Charles M. «Modeling of Buildings: Evolution and Concepts». Ponencia del seminario W78 del CIB, International Council for Building Research, Studies and Documentation, Eindhoven, septiembre 1991.

EMDE, Helmut. «Geometrical Fundamentals for Design and Visualization of Spatial Objects». En las *Preactas* de CAAD Futures, Eindhoven, 1987.

EVANS, Nigel. *The Architect and the Computer: A Guide Through the Jungle.* RIBA Publications, Londres, 1981; 40 pp.

FLEMMING, Ulrich. «LOOS: A Shell for the Development of Knowledge-Based Systems for Layout Synthesis». En las *Actas* de ARECDAO'91, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, marzo 1991, pp. 151-162.

FOLEY, J.D.; VAN DAM, A. *Fundamentals of Computer Graphics.* Addison-Wesley, Reading, Mass., 1982.

FONIO, Giorgio. «La realtà e il suo doppio». *L'Arca,* nº 50, 1991, pp. 92-96. Versión castellana: *Arquitectura Viva,* nº 20, septiembre-octubre 1991, pp. 9-12.

FORGIA, Anne. «Où en sont les images de synthèse?» *L'Architecture d'Aujourd'hui,* nº 254, diciembre 1987, pp. 48-62.

FRIEDHOFF, Richard Mark; BENZON, William. *Visualization: The Second Computer Revolution.* Harry N. Abrams, Nueva York, 1989; 215 pp.

GERLACH, Gary M. *Transition to CADD.* McGraw-Hill, Nueva York, 1987.

GERO, John S. «An Overview of Knowledge Engineering and its Relevance to CAAD». En PIPES, A., *Computer Aided Architectural Design Futures,* pp. 107-119.

GIBSON, William. *Neuromancer.* Ace Books, Nueva York, 1984.

GIELINGH, Wim. «Computer Integrated Construction: A Major STEP Forward». En las *Actas* de ARECDAO'89, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, abril 1989, pp. 29-47.

GORAL, M; TORRANCE, K.E.; GREENBERG, D.P.; BATTAILE, B. «Modeling the Interaction of Light Between Diffuse Surfaces». *ACM Computer Graphics (Proceedings),* 1984, pp. 213-222.

GORDON, Douglas E. «When Will CADD Come of Age?». *Architecture,* diciembre 1989, pp. 95-99.

—— «Mini-Micro Merger: Two Firms Explain the Benefits of Combining Old and New CADD Systems». *Architecture,* abril 1990, pp. 109-111, 144.

GOURAUD, Henri. «Continuous Shading of Curved Surfaces». En *IEEE Transactions on Computers,* C-20, 1971, pp. 623-628.

GREENBERG, Donald P. «Computer Graphics and Visualization». En PIPES, A., *Computer Aided Architectural Design Futures,* pp. 63-67.

—— «Computación y arquitectura». *Investigación y Ciencia,* nº. 175, abril 1991, pp. 68-73.

HAASE, Bruce. «Testing Rapid Prototypes». *Microcad News,* octubre 1991, pp. 27-29.

HARBISON, Don. «Landscape Architects Tap CAD & GIS». *Computer Graphics World,* diciembre 1988, pp. 32-38.

HERNÁNDEZ MATÍAS, Juan Carlos. «Estereolitografía: producción rápida de prototipos de CAD». *Revista de CAD,* nº 10, 1991, pp. 27-32.

HEWLETT-PACKARD. *Introduction to Computer Graphics: The Next Generation of Design.* Hewlett-Packard, Palo Alto, Cal., 1989. Versión castellana: *Introducción a los gráficos por ordenador.*

HOFSTADER, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid.* Vintage Books, Nueva York, 1980. Versión castellana: *Gödel, Escher, Bach: una eterna cinta dorada;* DRH, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, México DF, 1982, 916 pp.

HOPGOOD, F.R.A.; DUCE, D.A. «Future Developments in Graphics and Workstations». En las *Preactas* de CAAD Futures, Eindhoven, 1987.

HUGHES, John. «CAD Connectivity Spurs Success». *Microcad News*, julio 1991, pp. 54-56.

JANKEL, Annabel; MORTON, Rocky. *Creative Computer Graphics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1984; 143 pp.

KENNEDY, E. Lee. *CAD: Drawing, Design, Data Managements*. Whitney Library of Design (Watson-Guptill Publications), Nueva York, 1986. Versión castellana: *CAD: dibujo, diseño, gestión de datos; para arquitectos, diseñadores e ingenieros;* Gustavo Gili, Barcelona, 1988; 175 pp.

KENSEK, Karen; NOBLE, Douglas. «The Sorcerer's Apprentice?» *Computer Graphics World*, diciembre 1990, p. 120.

KONING, Hank; EIZENBERG, Julie. «The Language of the Prairie: Frank Lloyd Wright's Prairie Houses». *Environment and Planning B*, 8, pp. 295-323.

KROLL, Lucien. «Ordinateurs et systèmes constructifs». *L'Architecture d'Aujourd'hui*, 23, octubre 1982, pp. 10-15.

—— *The Architecture of Complexity*. B.T. Batsford, Londres, 1986, pp. 106-112.

KWINTER, Sandford. «Cyber Agonistes», *Newsline* (Columbia University), mayo-verano 1991, p. 2. Versión castellana: *Arquitectura Viva*, nº 20, septiembre-octubre 1991, pp. 13-15.

LANG, Laura. «Lighting Design». *Computer Graphics World*, octubre 1988, pp. 109-114.

—— «Architectural Rendering». *Computer Graphics World*, mayo 1989; pp. 48-54.

—— «Designer Interiors». *Computer Graphics World*, diciembre 1990, pp. 34-42.

—— «Realismo interactivo: CAD y diseño de interiores». *Arquitectura Viva*, nº 19, julio-agosto 1991, pp. 78-79.

—— «A través del espejo: el ciberespacio como producto». *Arquitectura Viva*, nº 20, septiembre-octubre 1991, pp. 77-79.

LANSDOWN, John. «Computers and Visualisation of Design Ideas: Possibilities and Promises». Ponencia del seminario W78 del CIB, International Council for Building Research, Studies and Documentation, Barcelona, abril 1989.

MACNICOL, Gregory. «The Computer-to-Video Connection». *Computer Graphics World*, julio 1988; pp. 61-64.

—— «Animating Motion». *Computer Graphics World*, septiembre 1988, pp. 44-50.

MADRAZO, Leandro. «Designing with Computers». En las *Actas* de ARECDAO'91, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, marzo 1991, pp. 93-106.

MANACORDA, Paola M. *Il calcolatore del capitale*. Milán, 1976. Versión castellana: *El ordenador del capital: razón y mito de la informática*, Hermann Blume Ediciones, Madrid, 1982; 205 pp.

MANDELBROT, B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman, San Francisco, 1982.

MARINI, Daniele (a cargo de). *Corso di grafica col computer: introduzione pratica all'eidomatica*. Fabbri Editori, Milán, 1985; 188 pp.

MCLEAN, Laurie. «Understanding and Choosing Color Display Systems». *Macintosh Aided Design*, junio 1990, pp. 12-19.

MEYER, Ann. «Printers Compared Head to Head». *Microcad News*, julio 1991, pp. 29-38.

MILEAF, Harry. «The Computer for Architects and Engineers». *Architectural Record*, julio 1983, 86 pp.

MILLIKEN, Barry. «Le défi de la conception assisté par ordinateur». *L'Architecture d'Aujourd'hui*, nº 223, octubre 1982, pp. 6-9.

—— «Modeling for Architecture». *Architectural & Engineering Systems*, mayo 1990, pp. 29-31, 46.

MITCHELL, William J. *Computer-Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1977.

—— «Solid Modeling and Volumetric Composition in Architecture», *Design Computing*, 1, 1986, nº 2, pp 123-135.

—— *The Logic of Architecture: Design, Computation and Cognition*. The MIT Press, Cambridge, Mass. / Londres, 1990; 292 pp.

MORASSO, Pietro; TAGLIASCO, Vincenzo. *Eidologia informatica: immagini e computer*. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1984; 254 pp.

NAGEL, Ernest; NEUMAN, James R. «La demostración de Gödel». En *Matemática, verdad, realidad*, Grijalbo, Madrid, 1969.
NEELY, Dennis. «Architecture & Image Capture». *True Imaging*, Premiere Issue, volumen 1, nº 1, pp. 33-36.
—— «Image Manipulation». *True Imaging*, volumen 1, nº 2, julio-agosto 1988, pp. 41-46.
—— «Architecture & Image Manipulation». *True Imaging*, volumen 1, nº 1, septiembre-octubre 1988, pp. 45-48.
NEWMAN, William M.; SPROULL, Robert F. *Principles of Interactive Computer Graphics*. McGraw-Hill, Nueva York, 1979, 541 pp.
NORBERG-SCHULZ, Christian. *Existence, Space and Architecture*. Studio Vista, Londres, 1971. Versión castellana: *Existencia, espacio y arquitectura*; Editorial Blume, Barcelona, 1975; 145 pp.

ORR, Joel N. «Upwardly Mobile CADD». *PC Magazine*, 8 de diciembre 1987, pp. 93-199.
—— «CAD Futures: What Is Coming and Who Will Survive It?» *Microcad News*, abril 1991, pp. 42-44.

PARTEARROYO, Francisco R. «Arquitectura y multimedia». En las *Actas* de ARECDAO'91, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, marzo 1991, pp. 29-47.
—— «CAD en el Mac: arquitectura y multimedia». *Arquitectura Viva*, nº 19, julio-agosto 1991, pp. 75-77.
PERDIGO, Ricardo. «Propuesta para la creación en la ETSAB de un laboratorio para la investigación y desarrollo sobre el proyecto integral asistido por ordenador». Barcelona, 1987; 36 pp.
PHONG, Bui-Tong. «Illumination of Computer Generated Pictures». En *Communications of the ACM*, 1975, pp. 311-317.
PIPES, A. (a cargo de). *Computer Aided Architectural Design Futures*, Butterworks, Sevenoaks, 1987, 245 pp.
POLISTINA, Alessandro. «CAAD: La progettazione architettonica assistita dal calcolatore.» En los materiales didácticos del congreso 'Il computer graphics nella progettazione architettonica', Roma, 1984.
—— *Computer graphics e CAD per l'architettura e il territorio: nuove tecnologie per il disegno e la progettazione*. Gruppo Editoriale Jackson, Milán, 1984; 255 pp.
—— «Computergraphica e rappresentazione in architettura». *XY dimensioni del disegno*, nº 1, marzo 1986, pp. 89-100.
PORTER, Tom. *Graphic Design Techniques for Architectural Drawing*. Hamlyn/Amazon, s.l., 1990; 159 pp.
PREVIATI, Paolo; BIALLO, Giovanni. *La prospettiva con il computer: introduzione all'uso dell'elaboratore elettronico nella rappresentazione grafica del progetto architettonico*. Full Books, Editoria Specializzata, Bari, 1982; 53 pp.

RADFORD, Antony; STEVENS, Garry. *CADD Made Easy*. McGraw-Hill, Nueva York, 1987; 354 pp.
RAE Hoffer, Erin. «Creating the Design Environment». *Microcad News*, agosto 1991, pp. 57-59.
REYNOLDS, R.A. *Computing for Architects*. Butterworths, Sevenoaks, 1987; 218 pp.
ROBERTSON, Barbara. «Animation Goes to Work». *Computer Graphics World*, julio 1988, pp. 38-48.
—— «Leaking the Word». *Computer Graphics World*, marzo 1990, pp. 121-127.
—— «The Changing Face of Architectural Presentations». *Computer Graphics World*, marzo 1990, pp. 52-56.
—— «Sculpting the Scenery». *Computer Graphics World*, junio 1990, pp. 48-56.
—— «Dibujos animados: la visualización en 3D». *Arquitectura Viva*, nº 14, septiembre-octubre 1990, pp. 60-61.
ROGERS, David F. *Procedural Elements for Computer Graphics*. McGraw-Hill, Nueva York, 1985; 433 pp.

SAINT-AUBIN, Jean-Paul. «L'immagine di sintesi». *XY dimensioni del disegno*, nº 5, abril 1988, pp. 21-26.
SAINZ, Jorge. «Il disegno neoaccademico: il recupero della rappresentazione grafica come immagine della realtà architettonica». *XY dimensioni del disegno*, nº 2, diciembre 1986; pp. 27-34.
—— «Teoria e storia del disegno d'architettura: una questione di stile». *XY dimensioni del disegno*, nº 4, noviembre 1987; pp. 33-44.

—— «Il rilevamento come analisi grafica: due concezioni della rappresentazione spaziale nel Rinascimento». *XY dimensioni del disegno,* nº 6-7, diciembre 1988; pp. 17-22.

—— «El estilo del futuro: infografía para la arquitectura». *Arquitectura Viva,* nº 9, noviembre 1989; pp. 5-9.

—— *El dibujo de arquitectura: teoría e historia de un lenguaje gráfico.* Editorial Nerea, Madrid, 1990; 236 pp.

—— «Ciberespacios: más allá de lo real». *Arquitectura Viva,* nº 20, septiembre-octubre 1991, pp. 3-8.

SALVEMINI, Mario. «CAD e i suoi fratelli.» En los materiales didácticos del congreso 'Il computer graphics nella progettazione architettonica', Roma, 1984; sacado de la revista *Zerouno,* nº 16, mayo 1983, pp. 74-81.

SCHMITT, Gerhard. «Expert Systems and Interactive Fractal Generators in Design and Evaluation». En las *Preactas* de CAAD Futures, Eindhoven, 1987.

STOKDYK, John. «CAD Reconstructs Ancient Churches». *Microcad News,* agosto 1991, pp. 72-74.

SUTHERLAND, Ivan. *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System.* Tesis doctoral, MIT Lincoln Laboratory, Cambridge, Mass., 1962.

—— «A Head-Mounted Three Dimensional Display». En *Proceedings: Fall Joint Computer Conference,* Thompson Books, Washington D.C., 1968, pp. 757-764.

THOMSEN, Charles B. «CAD's Greatest Promise is a Creative, Interactive Tool». En 'Affordable CAD', *Architectural Technology,* otoño 1984, pp 42-67.

TEICHOLZ, Eric. «The Future of AEC CAD». *Architectural & Engineering Systems,* mayo 1988, pp. 18-21.

VAGNETTI, Luigi. *Disegno e architettura.* Vitali e Ghianda. Génova, 1958; 156 pp.

VALDERRAMA, Fernando. «Objetivos de la Representación Integrada de la Arquitectura en el Ordenador». En las *Actas* de ARECDAO'87, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona, abril 1987, pp. 38-41.

—— «CAD y arquitectura: una opción consolidándose». *Arquitectura Viva,* nº 1, junio 1988; p. 43.

—— «La imagen electrónica: gráficos por ordenador», *Arquitectura Viva,* nº 5, marzo 1989, p. 47.

—— «Sabores de CAD: programas europeos y americanos». *Arquitectura Viva,* nº 9, noviembre 1989; pp. 10-12.

—— «Maquetas láser: la máquina de 'estereolitografía'», *Arquitectura Viva,* nº 14, septiembre-octubre 1990, p. 59.

—— «Ordenadores con recursos gráficos». *Diseño interior,* nº 1, febrero 1991, p. 91A.

—— «Fotorrealismo por ordenador». *Diseño Interior,* nº 3, abril 1991, pp. 26-27.

—— «Proyectos cibernéticos: de la visualización a la simulación». *Arquitectura Viva,* nº 20, septiembre-octubre 1991, pp. 73-76.

—— «Rearquitectura o patrimónica: sobre las técnicas de gestión inmobiliaria». *Arquitectura Viva,* nº 21, noviembre-diciembre 1991, p. 112.

VAN NEDERVEEN, G.A.; TOLMAN, F.P. «Modelling Multiples Views on Buildings». Ponencia del seminario W78 del CIB, International Council for Building Research, Studies and Documentation, Eindhoven, septiembre 1991.

VIDAL, Alfredo. «¿Qué prestaciones da el ordenador a un diseñador o un arquitecto?» *ARDI,* nº 1, enero-febrero 1988; p. 138.

VIDAURRE JOFRE, Julio. *En torno a unas sistemáticas del pensamiento arquitectónico y de la narrativa arquitectónica.* Escuela T.S. de Arquitectura de Madrid (ETSAM), Madrid, s.a.

—— *Escalas conceptuales; escalas gráficas; escalas relacionales.* ETSAM, Madrid, 1975.

—— *Funciones y usos de los sistemas de representación en el proyecto arquitectónico.* ETSAM, Madrid, 1975.

—— *La geometría como infraestructura gráfica de la ordenación de la idea arquitectónica.* ETSAM, Madrid, 1975.

VILLAVIEJA, Javier. «El CAD para arquitectura e interiorismo». *On,* nº 168, mayo 1991.

WALKER, John. «Through the Looking Glass: Beyond 'User Interfaces'». Informe interno de Autodesk, 1 septiembre 1988, 12 pp.

WHEELER, Barnaby J.Q. «A Unified Model for Building». En PIPES, A., *Computer Aided Architectural Design Futures,* pp. 200-231.

WHITTED, T. «An Improved Illumination Model for Shaded Display». *Communications of the ACM*, 1980.

WILSON, Forrest. «How Far Far-Out CADD? Desirable Limits to Automation». *Architecture*, octubre 1989, pp. 121-125.

WITTKOWER, Rudolf. *Architectural Principles in the Age of Humanism*. Volumen 19 de los *Studies of the Warburg Institute*, Londres, 1949. Versión castellana: *La arquitectura en la edad del Humanismo;* Nueva Visión, Buenos Aires, 1958.

WITTE, Olivier R. «Finding New Uses for Computers», *Architecture*, septiembre 1988, pp. 132-135.

—— «The 'Best' of CADD Software». *Architecture*, febrero 1989, pp. 107-112.

—— «Adapter and Monitor Combinations». *Architecture*, mayo 1989, pp. 199-201.

—— «Architecture on the Macintosh». Suplemento de *Architecture*, 6/89, 52 pp.

—— «How the Schools Are Teaching the Uses of Computers». *Architecture*, agosto 1989, pp. 91-95.

—— «Software for Specifications: A Comprehensive Review of 20 Manufacturers' Computer Programs for Selecting Building Products». *Architecture*, enero 1990, pp. 118-123, 139-141.

—— «Less Is More in 3D: Reviews of IBM and Macintosh-compatible Software for Design Presentations». *Architecture*, febrero, 1990, pp. 119-124, 141-145.

—— «Plotting the Future: Architects Evaluate 11 Output Devices for Producing Construction Drawings». *Architecture*, junio 1990, pp. 115-122.

WOHLERS, Terry. «3D Printing from CADD Model to Prototype». *Computer Graphics World*, mayo 1988, pp. 52-54.

YARES, Evan. «The many faces of AutoCad». *Architectural & Engineering Systems*, septiembre 1989, pp. 12, 52.

ZUCCARI, Federico. *L'idea de' pittori, scultori e architetti divisa in due libri*. Turín, 1607.

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Todas las imágenes de las que no se cita la procedencia han sido cedidas por Soft SA.

Capítulo 1: Antecedentes

1. *Izquierda:* de Christopher Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*, versión castellana, página 155; *derecha:* de Philip Drew, *Die Dritte Generation*, v. cast., p. 30.
2. De un folleto de ICL España.
3. De Nigel Evans, *The Architect and the Computer.*
4. De un folleto de IBM.

Capítulo 2: Sistemas infográficos

5. Cortesía de Star Technologies; elaborado con el programa CadStar Clásico.
8. Del folleto *Macintosh, el colaborador del arquitecto*, de Apple Computer España.
12. De R.A. Reynolds, *Computing for Architects*, p. 52.
13. Del programa RenderStar, © 1989 Modern Medium, Holanda.
14. Imágenes elaboradas con el programa Arris.
15. *Derecha:* de un catálogo de la firma de impresoras JDL.
16. De un vídeo publicitario de Wavefront Technologies, © 1988.
20. Cortesías de I.M. Pei & Partners *(izquierda)* y de Ove Arup & Partners *(derecha)*, éste elaborado con el programa Oasys GSA.

Capítulo 3: La infografía arquitectónica

21. *Arriba:* detalle de una acuarela dibujada por la alumna Mª Luz López Martínez como ejercicio de Análisis de Formas Arquitectónicas en la Escuela de Arquitectura de Madrid durante el curso 1985-1986. *Centro:* detalle de una pantalla Silicon Graphics de alta resolución. *Abajo:* volcado de una imagen elaborada con CadStar en una impresora HP PaintJet.
22. Cortesía de Foster Associates *(arriba)* y de Shin Takamatsu & Associates *(abajo)*.
23. De Donald P. Greenberg, «Computación y arquitectura», pp. 72-73.
24. Imagen elaborada con CadStar
25. *Izquierda:* de un folleto de Alias Research sobre su programa Upfront; *derecha:* el croquis de Paxton se encuentra en el Victoria & Albert Museum de Londres.
26. Véase 5.

Capítulo 4: El dibujo infográfico

28. De William J. Mitchell, *The Logic of Architecture*, p. 44.
29. Cortesía de Jean-Paul Saint-Aubin, © Inventaire Géneral, Phillipe Fortin, 1991.
30. *Izquierda:* de Rudolf Wittkower, *Architectural Principles in the Age Of Humanism*, 4ª ed. 1973, p. 73; *derecha:* de William J. Mitchell, *The Logic of Architecture*, p. 173.
31. De Olivier R. Witte, «Finding New Uses for Computers».
32. Imagen elaborada con el módulo MultiScreen, de AriTec, sobre Arris.
33. Cortesía de Renzo Piano Building Workshop; elaborado con el programa AutoCad.
34. De E. Lee Kennedy, *CAD: Drawing, Design, Data Managements*, v. cast., p. 124.
37. Imagen elaborada con el módulo RenderPlus, de AriTec, sobre Arris.
38. Imagen elaborada con el módulo Integra sobre Arris.
40. De Donald P. Greenberg, «Computación y arquitectura», p. 71.
41. *Izquierda:* de la exposición 'Forty London Architects', 1976; *derecha:* cortesía de Ron Herron & Associates.
42. © Zaha Hadid, 1982 y 1991; el segundo, elaborado con el programa ModelShop por Daniel R. Oakley.

43. De Barnaby J.Q. Wheeler, «A Unified Model for Building».
44. Cortesía de Ricardo Aroca; elaborado con Arris y realizado con un trazador electrostático VersaTec.
45. Vegetación obtenida con el módulo ArriScape, de Sigma Design, sobre Arris.
46. Cortesía de Arquitectura e Infografía, Sevilla; elaborado con el programa Medusa.
49. © Wavefront Technologies, 1991.
50. *Izquierda:* imagen elaborada por DesignVision con programas de Alias. *Derecha:* de un vídeo publicitario de Wavefront Technologies, © 1988.

Capítulo 5: El proyecto infográfico

51. Del concurso Arc+/Canson 1991, primer premio de la modalidad 'plano de ejecución': Bureau Suard, arquitectos, Nyon, Suiza.
52. Veáse 5.
53. Imagen elaborada con AutoCad 10.
54. Véase 5.
56. Cortesía de Skidmore, Owings & Merrill; elaborado por Steve King con el programa AES Model.
57. Véase 5.
58. *Abajo:* de Christian Norberg-Schulz, *Existence, Space and Architecture,* v. cast., p. 25. *Derecha:* véase 5.
59. De R.A. Reynolds, *Computing for Architects,* p. 87.
60 y 61. Véase 5.

Capítulo 6: La arquitectura infográfica

62. © 1985 Walt Disney.
63. Cortesía de Autodesk.
64. Imágenes elaboradas con el módulo Planificación sobre Arris.
65. De Gerhard Schmitt, «Expert Systems and Interactive Fractal Generators...».
66. De William J. Mitchell, *The Logic of Architecture,* p. 179.
67. Véase 5.
68. Cortesía de Richard Rogers Partnership; elaborado con los programas MicroStation y ModelView.
69. Cortesía de Arata Isozaki & Associates; elaborado con el programa GDS por CAD Center Corporation.

Láminas en color

I. Pantalla del módulo Wizard, de Aritec, sobre Arris.
III. © Universidad de Cornell, Programa de Infografía, dirigido por Donald P. Greenberg; modelado: Keith Howie y Paul Boudreau; representación: Eric Haines y John Wallace, de 3D/Eye.
IV. © Wavefront Technologies, Osama Hashem; realizado con una impresora Iris de chorro de tinta.
V y VI. De Hewlett-Packard, *Introduction to Computer Graphics,* p. 23.
VII. © 1990 Alias Research, encargado a Design Vision Inc, Toronto.
VIII. Cortesía de Jean-Paul Saint-Aubin, © Inventaire Géneral, Phillipe Fortin, 1991.
IX. Cortesía de Arquimática; elaborado con los programas Architrion y PixelPaint Professional.
X. Cortesía de Clotet Paricio y Asociados, elaborado con el programa Mountain Top por Cronos DAO.
XI y XII. Cortesía de Shin Takamatsu & Associates; elaborado con DynaPerspective y QuBISM.
XIII. © 1990 Zaha Hadid; elaborado con el programa ModelShop por Daniel R. Oakley.
XIV. Cortesía de Arup Associates; elaborado con el programa GDS de McDonell Douglas.
XV. Cortesía de Skidmore, Owings & Merrill; elaborado por Nate Kaiser con el programa AES de IBM, desarrollado por la propia firma SOM.
XVI. Véase 5.
XVII. Cortesía de Ian Ritchie; fotografía aérea retocada con el programa PixelPaint.
XVIII y XIX. Cortesía de Arata Isozaki & Associates; elaborado con el programa GDS por CAD Center Corporation.
XX. Cortesía de Richard Rogers Partnership; elaborado con los programas MicroStation y ModelView.
XXI. Cortesía de Foster Associates; elaborado con los programas Euclid, de Matra DataVision, y Explore, de Thompson Digital Image, por Derbi Informatique/OTH.

ÍNDICE ANALÍTICO

acotación: 108, 157-158; *véase también* cotas.
acuarela: 31, 107, 119.
adaptadores gráficos: 36; *véase también* placas gráficas.
AES: figs. **48, 56**; lám. **XV**.
Alberti: 178.
Alexander, Christopher: 21; fig. **1**.
Alias: 80; figs. **50**.
aliasing: 94; *véase también* antialiasing y escalonamiento.
alzados: 31, 54, 90, 140; *véase también* proyecciones ortogonales.
análisis infográficos: 88-89; figs. **30, 56**.
analógicos (sistemas): 51, 52, 68, 70; fig. **21**.
animación: 38, 40, 51-53, 56, 57, 75, 116, 120-129, 160; figs. **23, 49**.
  2D: 120.
  3D: 120.
antialiasing: 51, 94; *véase también* aliasing y escalonamiento.
Apollo: 39.
Apple: 37; figs. **8, 9**.
Archigram: fig. **41**.
Aroca, Ricardo: fig. **44**.
arquitectura (de ordenadores): 36, 59; fig. **6**.
Arris: 54; figs. **14, 18, 32, 37, 38, 44, 45, 64**; láms **I, XXII-XXVI**.
artesanía infográfica: 74-75, 109, 174-175.
Arup & Partners: fig. **20**.
Arup Associates: lám. **XIV**.
ASCII (American Standard Code for Information Interchange): 62.
asociatividad: 27, 158.
AutoCad: 26, 34, 36, 37, 54, 55, 144; figs. **33, 53**.
AutoDesk: 63.
AXA Watercolor: 107
axonometrías: 31, 90, 95; fig. **53**.

bases de datos: 38, 60, 138.
  de precios: 58, 62, 154.
  jerárquicas: 154.
  oficiales: 154.
  paramétricas: 154-155.
  territoriales: 170-171; fig. **67**.
Beaux-Arts: 110, 176.
Benson: 25.
Bernini: 112.
bibliotecas de signos gráficos: 55, 60, 61, 84, 134, 149; fig. **27**.
Bohigas, Oriol: 174.
Borromini: 112.
Botta, Mario: 120.
Brunelleschi: 178.

CAAD (Computer Aided Architectural Drafting/Drawing/Design): 66; *véase también* CAD y DAAO.
CAD (Computer Aided Drafting/Drawing/Design): 21, 66-67, 114, 120, 137, 163; *véase también* DAO, dibujo y diseño asistidos por ordenador.
CadPlan: 26.
CadStar: 56, 144; figs. **5, 19, 24, 26, 48, 52, 54, 57, 58, 60, 61, 67**; lám. **XVI**; *véase también* StarArchi.
Cadvance: 26.
Calcomp: 26.
CAM/CAE (Computer Aided Manufacturing/Engineering): 66.
Candela, Félix: 149.
capas: 54, 93, 114, 142; figs. **17, 43**.
Cero/0: 25.
CGA (Color Graphics Adapter): 36.
ciberespacio: 19, 75, 158, 163-166; fig. **63**.
ciberproyecto: 166.
cielos: 119; fig. **47**.
CIM (Computer Integrated Manufacturing): 130.
cine: 51, 57, 75, 87, 88, 120, 129, 130, 166.
claroscuro: 96; *véase también* iluminación y sombras
clases (de objetos): 61-62.
claves de profundidad: 92; *véase también* depth cueing.
cliente (en una red): 43.
clones: 35; *véase también* compatibles; fig. **6**.
Clotet, Lluís, y Paricio, Ignacio: lám. **X**.
CMYK: 107: *véase también* color, sistema sustractivo.
color: 27, 31, 44-47, 57, 105-107, 117; *véase también* mapas y planos de color.
  convencional: 107.
  impresoras: 50-51.
  paletas: 105.
  programas de retoque: 107.

realista: 107.
sistema aditivo: 50, 105; *véase también* RGB; lám. **II**.
sistema sustractivo: 50, 107; *véase también* CMYK; lám. **II**.
verdadero: 46; *véase también* true color.
comandos: 60, 139.
compatibles: 25, 35-37; *véase también* ordenadores personales; figs. **4, 6, 7**.
complejidad instrumental: 70-72.
componentes 2 1/2 D: 149-150; fig. **59**.
computer graphics: 65; *véase también* infografía.
ComputerVision: 23, 25.
comunicación: 27, 38, 41, 60, 62, 74; *véase también* formatos de intercambio.
conectividad: 28.
convencionalidad gráfica: 70-72, 112, 116.
copias en papel: 50, 51; *véase también* hardcopy; lám. **IV**.
correo electrónico: 43.
cotas: 108, 136; *véase también* acotación.
croquis: 67, 80, 88, 89; figs. **26, 31**.
CRT (Cathode Ray Tube): 44; *véase también* televisión.

DAAO (Delineación/Dibujo/Diseño Arquitectónico Asistido por Ordenador): 66; *véase también* CAAD y DAO.
DAO (Delineación/Dibujo/Diseño Asistido por Ordenador): 66; *véase también* CAD.
De Rubertis, Roberto: 77, 79, 80, 87, 92.
degradado: 117.
depth cueing: 92: *véase también* claves de profundidad.
diapositivas: 50, 51, 105.
Dibac: 25.
dibujo asistido por ordenador o infográfico: 19, 21-23, 26, 66-68, 72-80, 81-133; *véase también* CAD y programas de dibujo y diseño.
alámbrico: 93, 116; *véase también* wireframe; fig. **28, 35**.
analítico: 88-89; fig. **30**.
artesanía: 74-75, 109.
atributos: 72-80.
automatismo: 74-75.
autoría: 74.
belleza: 73.
definición: 72.
delineación electrónica: 133-135; fig. **51**.
dimensión temporal: 75, 120; fig. **23**.
durabilidad: 73-74.
escala: 77-79; fig. **24**.
experiencia virtual: 75-77, 129-130; figs. **23, 50**.
expresividad: 79-80, 89.
formas: 89-96, 105-108.
funciones en el proyecto: 84
grados de asistencia: 111.
integridad: 77.
productividad: 134.
sistemas de proyección geométrica: 90-92, 178; figs. **32, 33**.
usos: 82-89.
utilidad: 72-73.
variabilidad: 77.
dibujo tradicional: 17, 19, 30, 66, 67-80, 81, 82, 84, 90, 92, 93, 94, 96, 105, 109, 110, 111, 116, 133, 177; fig. **21**.
historia: 73.
plano de St. Gallen: 73.
variables gráficas: 92.
Digital: 22, 39.
digitales (sistemas): 51, 52, 68, 70; fig. **21**.
digitalización (de planos): 60.
disco duro o fijo: 42.
diseño arquitectónico tradicional: 17, 21, 67.
diseño asistido por ordenador: 66-67, 80, 114, 144, 173; *véase también* CAD y programas de diseño.
automatizado: 135-138.
Durand: 169.
DXF: 63, 109.

Eastman, Charles M.: 151.
EGA (Enhanced Graphics Adapter): 36.
EGS/200: 25.
eidología: 65.
enseñanza: 120.
EPS: 63.
equipos: 19, 26-27, 30, 33-53, 112; fig. **5**.
escala: 29, 68, 77-79; fig. **24**.
escalonamiento: 49, 51, 68, 94; fig. **11**; *véase también* aliasing y jaggies.
escáner: 31, 63, 80, 84; fig. **26**.
espacio arquitectónico: 29, 146-149; fig. **58**.
en el ordenador: 56, 138-139, 145-153; fig. **58, 62**.
especificidad: 146-149.
espacio topográfico: 145-146, 147; fig. **57**.
especificidad de la arquitectura: 29.
estaciones de trabajo: 22, 35, 37, 39-41, 42; figs. **2, 10, 11**.
estándares: 59.
estereolitografía: 116, 130-132.
estilo
arquitectónico: 169, 177; *véase también* poética; figs. **65, 66**.
gráfico: 67, 70, 111-113, 177; figs. **41, 42**.
high tech: 173-174; fig. **68**; láms. **XX, XXI**.
infográfico: 70-72, 111-113, 177; figs. **22, 41, 42**.
posmoderno: 173-174; fig. **69**; lám. **XIX**.
reglado: 170.
estudio profesional (su organización): 28, 40, 42, 43, 53, 61, 144, 172, 174.

facilities management: 152; *véase también* rearquitectura.
fax: 63.
figura humana: 119; fig. **46**.
FIS (Formato de Intercambio Standard): 62.
flickering: 52; *véase también* parpadeo.
formatos de intercambio: 40, 51, 60, 62-64, 74, 109.
de caracteres: 62.
de modelos: 64.
de texto: 62-63.
de planos: 63, 64.
de puntos: 63; *véase también* raster.
vectoriales: 63.
Foster, Norman: 72; figs. **20, 22**; lám. **XXI**.
fotografía: 38, 44, 46, 57, 85, 107, 116, 119, 129, 160; fig. **47**.
fotogrametría: 85, 87.
restitución: 87; fig. **29**; lám. **VIII**.
fotorrealismo: 57, 96, 116-119, 160; figs. **38, 45**; lám. **VII**.
fractales: 119; fig. **45**.

Galley Effects: 107.
GDS: 24; fig. **69**; láms. **XIV, XVIII, XIX**.
Gero, John S.: 168.
Gibson, William: 163.
Gielingh, Wim: 64.
Goff, Bruce: 149.
Gouraud: 96, 117.
Greenberg, Donald: 105; fig. **23**; lám. **III**.

Hadid, Zaha: fig. **42**; lám. **XIII**.
hardcopy: 50; *véase también* copias en papel; lám. **IV**.
hardware: 26, 53; *véase también* equipos; fig. **5**.
Hercules: 36.
Hernández Matías, Juan Carlos: 130.
Herron, Ron: fig. **41**.
Hewlett-Packard: 25, 39, 40, 66, 117.
hiperdocumento: 77, 159-160.
hiperproyecto: 19, 77, 159-161; fig. **61**.
hiperrealismo: 56, 160.
Hopgood, F.R.A., y Duce, D.A: 39.
HP-Draft: 25.
HPGL: 63.

IBM: 25-26, 35, 36, 39; figs. **4, 6, 48**.
ICL: fig. **2**.
iconos: 37.
IGES: 63, 107.
iluminación: 47, 95-96; fig. **37, 38, 40**.
fuentes de luz: 96.
imágenes electrónicas o infográficas: 19, 27, 31, 43, 47, 50, 51, 56, 68-72, 84.
de impresora: 51, 68, 109; fig. **21**.
de pantalla: 68, 78, 105, 109; fig. **21**.
de síntesis: 87-88; fig. **29**; lám. **VIII**.
definición: 65-66.
en vídeo: 52, 57, 120; fig. **16**.
impresoras: 30, 34; fig. **5**.
de chorro de tinta: 110, 111.
de color: 50-51; lám **IV**.
láser: 49, 50, 63, 110, 111.
resolución: 50, 51.
infografía: 18-19, 30, 65-66, 129; *véase también* computer graphics.
arquitectónica: 65-80.
definiciones: 66.
informática gráfica: 18-19, 22, 23, 24, 163; *véase también* infografía.
integración: 27, 28, 29, 56, 138, 152, 153, 171.
Intel: 35.
inteligencia artificial: 21, 166-168.
activa: 157-158.
entidades inteligentes: 156-158.
pasiva: 157-158.
Intergraph: 25.
interactividad: 27.
interface de usuario: 39, 40; *véase también* user interface.
Instituto de la Construcció de Catalunya (ITEC): 154.
Instituto Valenciano de la Edificación: 154-155.
Iris: 25.
Isozaki, Arata: fig. **69**; láms. **XVIII, XIX**.

Jacoby, Helmut: 176.
jaggies: 51; *véase también* escalonamiento.
Jankel, Annabel, y Morton, Rocky: 18, 66, 73, 94, 95.

Kennedy, E. Lee: fig. **34**.
Koning, Hank, y Eizenberg, Julie: 169.

Le Corbusier: 119; figs. **23, 28, 48**; lám. **III**.
letras: 28, 61, 108; *véase también* rotulación.
levantamiento: 77, 85-88; fig. **23**; lám. **VIII**.
documentación: 87.
líneas dobles: 23, 29, 139, 157.
líneas ocultas: 93-94, 116; fig. **36**.

Macintosh: 35, 37-39, 41, 145; figs. **8, 9**.
macros: 61.
mainframes: 21.
Manacorda, Paola: 175.
Mandelbrot, B.B.: 119.
mapa de color: 46; fig. **14**; lám. **I**.
maqueta: 130-131.
electrónica: 135; *véase también* modelo infográfico.
vacía: 149.
mediciones: 152, 153-155; fig. **60**.
unidades paramétricas: 154-155.

Medusa: 25; fig. **46**.
Meier, Richard: 169; fig. **48**.
memoria: 36, 42.
menús: 37, 60; fig. **9**.
MicroSoft: 35, 37.
MicroStation: figs. **22, 68**; lám **XX**.
Mies van der Rohe, Ludwig: 169; fig. **65**.
MIT (Massachusetts Institute of Technology): 21, 24, 164.
Mitchell, William: 169, 170; figs. **30, 66**.
miniordenadores: 22, 39.
modelado: 66, 73, 84, 146, 147, 148, 151.
  agujeros: 147-148.
  huecos: 147-148.
modelo infográfico: 19, 24, 29, 54, 56, 57, 67, 73, 120, 133-145, 168; fig. **28, 29, 48, 49**.
  2D+3D: 138.
  3D: 138, 142, 144; fig. **55**.
  ambiental: 151-152.
  de edificio terminado (as built): 152.
  de simulación: 152, 158.
  del territorio: 170-172; fig. **67**.
  estático: 151.
  integrado: 151-153.
  para animación: 53, 120.
  por extrusión: 139-141, 142; fig. **53**.
ModelView: figs. **22, 68**; lám. **XX**.
moiré: 49.
monitores: *véase* pantallas.
Morasso, Pietro, y Tagliasco, Vincenzo: 65.
Motif: 40.
MS-DOS (MicroSoft Disk Operative System): 35-36, 37.
multimedia: 57, 114, 116, 129-130; fig. **50**.
música: 38, 160.

Nagel, Ernest, y Neuman, James R.: 170.
Norberg-Schulz, Christian: 146, 147; fig. **58**.
Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE): 156.
NTSC: 52.

Océ Graphics: 25.
OCR (Optical Character Recognizer): 63-64.
ordenadores personales: 25-26, 35; *véase también* compatibles; fig. **4**.
ordenadores portátiles: 44.
orientada a objeto (programación): 61, 166.
OS/2 (Operative System/2): 37.

Painter: 107.
PAL: 52.
paletas: 37; fig. **9**.
  de color: 105.
Palladio: 169; figs. **30, 66**.
pantallas: 21, 30, 42, 43-47, 177; figs. **5, 7, 9, 11**.
  como soporte infográfico: 109.
  de cristal líquido: 44.
  de rastreo o mapa de puntos: 43
  de televisión: 21, 44.
  gráficas: 42-43.
  resolución: 21, 22, 27, 36, 39, 44; fig. **13**.
  vectoriales: 21.
  volcado: 50.
parpadeo: 22, 52; *véase también* flickering.
Partearroyo. Francisco R.: 130, 145; lám. **IX**.
Pei, Ieoh Ming: fig. **20**; lám. **XVI**.
PERQ: 39; fig. **2**.
PC (Personal Computer): 25, 35-36, 37; *véase también* ordenadores personales; figs. **4, 6**.
PC-DOS (Personal Computer Disk Operative System): 35.
PCX: 63.
PDES (Product Data Exchange Specification): 64.
periféricos: 30.
perspectiva: 24, 31, 47, 82-83, 90, 95, 116-117, 140, 160, 178; figs. **28, 33, 53**.
  curvilínea: 92; fig. **34**; lám. **XXI**.
  restitución: 87.
  sombras: 95-96
Phong: 96.
Piano, Renzo: fig. **33**.
pixels: 44, 78, 111; *véase también* puntos de pantalla.
placas
  de vídeo: 52.
  gráficas: 36, 46, 47, 52; *véase también* adaptadores gráficos.
planos: 17, 19, 24, 27, 30-31, 42, 43, 47, 49, 54, 55, 56, 67, 73, 77, 114, 133, 135, 137, 138-139, 142, 144, 160, 177; figs. **43, 51**.
  digitalización: 60.
  por proyección: 140-141; fig. **54**.
planos de color: 46.
plantas (planos): 31, 54, 90, 141; *véase también* proyecciones ortogonales.
plantillas: 28, 60, 61, 149; fig. **27**.
pliego de condiciones: 137, 153, 155-156, 160.
  extraído del presupuesto: 156.
  por especificaciones: 156.
plotter: 28, 30; *véase también* trazadores.
poéticas por ordenador: 169-170; *véase también* estilo arquitectónico.
Polistina, Alessandro: 66, 83, 84, 112, 135.
Porter, Tom: 66.
PostScript: 51.
PowerVision: 40.
presentación: 113-132; *véase también* programas de presentación.
Presentation Manager: 40.
presupuesto: 137, 152, 153-155, 161; fig. **60**.
Prime: 22, 23, 25, 26.
primitivas: 139.

procesadores: 30, 42; fig. **5**.
velocidad: 22, 37, 38, 40, 42.
programas: 19, 22, 24-27, 29, 33-34, 36, 42, 53-64, 111, 145, 147, 148, 149.
2D: 23-24, 25, 54, 90, 138-139; *véase también* de dibujo; fig. **43**.
2D+3D: 54, 138, 139, 141-142, 143, 144; figs. **18, 53**; *véase también* de dibujo.
3D: 24, 55, 90, 138-139, 141, 143; *véase también* de diseño; fig. **56**.
3D+2D: 56; fig. **19**; *véase también* de diseño.
auxiliares: 53, 56, 57-59.
basados en AutoCad: 55.
criterios de elección: 59-62.
de animación: 56, 57; *véase también* animación.
de aplicación: 22.
de apoyo táctico: 145.
de apoyo estratégico: 145.
de estructuras: 35, 43, 58-59; fig. **20**.
de delineación electrónica: fig. **51**; *véase también* de dibujo.
de dibujo: 19, 23-28, 35, 37, 43, 53-55, 90, 133, 138, 139, 143, 144, 149, 153; fig. **3, 17, 43**.
de diseño: 19, 23-25, 27-28, 35, 53, 55-56, 90, 114, 135-137, 138, 143, 144, 152, 154; figs. **3, 52, 58**.
de instalaciones: 59.
de mediciones: 35, 57-58, 62
de modelado: 55, 146, 149.
de presentación: 53, 56-57; fig. **37**.
de presupuestos: 35, 58, 62.
de retoque: 107.
de tratamiento de imágenes: 56, 83, 88; *véase también* de presentación y rendering.
desarrollo futuro: 168-169.
específicos: 53.
europeos: 144-145.
genéricos o no especializados: 23, 25, 29, 34, 53, 137.
horizontales: 35
norteamericanos: 144-145.
proyecciones ortogonales: 31, 90; fig. **55**.
proyecto arquitectónico tradicional: 17, 24, 26, 30-31, 42, 43, 57, 68, 73, 77, 82-83, 90, 114, 133, 143.
proyecto asistido por ordenador o infográfico: 19, 26, 67, 68, 73, 77, 82-84, 113-114, 133-161, 168; fig. **52**; láms **IX** a **XXVI**.
entidades inteligentes: 156-158.
simulación: **77**, 84, 152, 166.
sin papel: 159, 161, 177.
puntos
de impresión: 49, 78; *véase también* resolución de trazadores.
de pantalla: 36, 39, 44, 78, 111; *véase también* pixels y resolución de pantallas
radiosidad o radiosity: 57, 96, 117; fig. **40**; lám. **VI**.
raster: 63-64: *véase también* formato de puntos.
ratón: 37, 60, 70, 80, 89, 93, 110; figs. **5, 9**.
ray tracing: 57, 96, 105; *véase también* seguimiento de rayos; fig. **40**; lám. **V**.
realidad virtual: 19, 75, 163-166; fig. **63**.
rearquitectura: 152; *véase también* facilities management.
recorridos infográficos: 31.
redes: 22, 34, 39, 40, 41-43; fig. **12**.
rendering: 27, 56, 83, 117, 119; *véase también* tratamiento de imágenes.
representación
gráfica: 19, 29, 72, 75, 84, 175, 177; *véase también* dibujo.
infográfica: 113-132, 141, 176.
espectacular: 88.
resolución: *véase* pantallas y trazadores.
Reynolds, Tony: 168.
RGB: 105; *véase también* color, sistema aditivo.
Rietveld, Gerrit: 120.
Ritchie, Ian: lám. **XVII**.
Robertson, Barbara: 129.
RoboCad: 26.
Rogers, Richard: fig. **68**; lám. **XX**.
rotulación: 54, 108, 133, 136.
rotuladores: 27.
RUCAPS: 24; fig. **3**; *véase también* Sonata.
Rudolph, Paul: 172, 173.
rutinas: 55.

Saint-Aubin, Jean-Paul: 88.
Schmitt, Gerhard: 169; fig. **65**.
secciones: 31, 54, 90; *véase también* proyecciones ortogonales; fig. **55**.
seguimiento de rayos: 57, 96, 117; *véase también* ray tracing; fig. **40**; lám. **V**.
Sert, Josep Lluís, y Lacasa, Luis: láms. **XXII** a **XXVI**.
servidor (en una red): 43.
shading: 96, 117; *véase también* sombreado.
shadows: 96; *véase también* sombras.
Sidac: 25.
Silicon Graphics: 39, 40, 117.
signos o símbolos gráficos: 28, 55, 84, 85, 149; *véase también* bibliotecas; fig. **27**.
tridimensionales: 56.
sistemas de proyección geométrica: 90-92, 178; figs. **32, 33**.
sistemas expertos: 156, 166-168; fig. **64**.
sistemas infográficos: 31, 33-64.
abiertos: 59-60.
capacidad: 60.
conectividad: 60.
de propósito general: 23.
especialización: 61.

facilidad de uso: 60.
integridad: 61
inteligencia: 61
jerarquía: 61.
propietarios: 59.
referencias: 61.
su elección: 31, 59-64.
sistemas llave en mano: 22.
sistemas operativos: 22, 31, 34, 35-36, 37, 40.
monotarea: 36, 37.
monousuario: 36.
multitarea: 37, 39.
multiusuario: 39.
Skidmore, Owings & Merrill (SOM): fig. **48**; lám. **XV**.
software: 26, 53, 112; *véase también* programas.
sombras: 24, 27, 31, 57, 95, 117; *véase también* shadows; fig. **39**.
arrojadas: 31, 95, 96, 117; fig. **39**.
propias: 31, 96, 117; fig. **39**.
sombreado: 96, 117; *véase también* shading; fig. **39**.
Sonata: 24; fig. **3**; *véase también* RUCAPS.
sonido: 75, 129, 160.
soporte informático: 73-74, 177.
StarArchi: 56, 144; *véase también* CadStar.
STEP (Standard for The Exchange of Product data): 64.
subsistemas gráficos 3D: 40.
Sun: 39.
Sutherland, Ivan: 21.

tablero digitalizador: 25, 60; fig. **5**.
Takamatsu, Shin: 72; fig. **22**; láms. **XI, XII**.
Targa: 46, 63.
técnicas gráficas e infográficas: 108-113.
Tektronix: 22, 25.
televisión: 21, 44, 57, 120, 130; *véase también* vídeo.
teoría gráfica arquitectónica: 19.
terminales gráficos o X: 43.
textura: 27, 31, 57, 61, 94, 117.
convencional: 94.
imitativa: 94; *véase también* color.
texture-mapping: 94.
Thomsen, Charles B.: 137.
Three Rivers Corporation: 39; fig. **2**.
tiempo real: 56, 75.
TIFF: 63.
tramas: 49, 61.
transparencia (informática): 27, 50, 51.
tratamiento de imágenes: 117; *véase también* programas y rendering
trazadores: 28, 30, 34, 47-50, 110; *véase también* plotter; fig. **5, 15**.
aceleración: 48.
de chorro de tinta: 49.
de plumas: 48-49, 50, 110, 111.
de rastreo de puntos: 48-49, 50.
electrostáticos: 49-50, 110, 111.
resolución: 49.
térmicos: 49, 50.
vectoriales: 48.
velocidad: 48-49.
Tron: 164; fig. **62**.
true color: 46; *véase también* color verdadero.

Unix: 37, 39, 40.
Upfront: 80; fig. **25**.
user interface: 27, 36, 37; *véase también* interface de usuario; figs. **7, 8**.

variables gráficas: 31, 57, 92.
variables infográficas: 92-107.
figura: 92.
textura: 94.
luz y sombra: 94-105.
color: 105-107.
Vax: 22, 25.
Vázquez de Castro. Antonio: fig. **44**.
vectorizadores: 64.
vegetación: 119; fig. **45**.
ventanas: 37, 39, 40, 43, 60, 78; fig. **7, 9, 11, 24**.
VersaCad: 26.
VGA (Video Graphics Adapter): 36.
vídeo: 31, 44, 46, 51-53, 57, 83, 84, 88, 120, 129, 160; fig. **16**.
Vignola: 84.
vistas: 84-85.
visualización: 56, 57, 66, 87, 119, 151, 166, 170.
interactiva: 116, 119-120.
voz: 57, 129, 160.
VPRX: 40.

Whitney Group: fig. **31**.
Whitted, T.: 96.
Windows: 36; fig. **7**.
wireframe: 93; *véase también* dibujo infográfico alámbrico.
Wittkower: fig. **30**.
WordPerfect: 63.
workstations: 39; *véase también* estaciones de trabajo.
Wright, Frank Lloyd: 120, 169.

X-Window: 40, 42-43.

Zuccari, Federico: 17, 188.

Esta página se ha dejado
en blanco deliberadamente.

El ordenador ha entrado en el estudio del arquitecto, realidad incontestable que los profesionales han de aceptar. Muchos piensan que han llegado tarde a la informática, pero en realidad lo que ocurre es que no les resulta fácil modificar su método de trabajo. Todavía son pocos los que ven con entusiasmo la posibilidad de *concebir* y *diseñar* sus proyectos desde el primer momento delante de una pantalla en lugar de sentarse en el tablero de dibujo. La intención de este libro es llegar a todos los arquitectos que, no siendo expertos en informática, quieren utilizarla y sacar de ella todo el partido posible. Y, para ello, se plantea dos objetivos fundamentales. El primero es contribuir a que los arquitectos se pongan al día en cuanto a la situación actual de la informática específica para arquitectura, y en especial de la informática gráfica («infografía»). El segundo objetivo es más duradero, y persigue el establecimiento de una sólida base terminológica y conceptual relativa a la parte de la informática que tiene que ver con la arquitectura o —si se prefiere— a la parte de la arquitectura que tiene que ver con la informática. A lo largo de estas páginas el lector encontrará referencias tanto a aspectos muy concretos de las máquinas informáticas y los programas que las hacen funcionar como a temas genéricos y abstractos de las relaciones de la arquitectura con su representación.

JORGE SAINZ y FERNANDO VALDERRAMA son arquitectos, pero su acercamiento a la informática se ha producido por caminos muy distintos: el primero es profesor de la Escuela de Arquitectura de Madrid y pertenece al equipo editorial de las revistas *A & V* y *Arquitectura Viva;* el segundo es fundador y director técnico de una empresa especializada en informática para arquitectura.

Otros libros de arquitectura en Editorial Nerea:

Jorge Sainz:	***El dibujo de arquitectura***
Francisco de Gracia:	***Construir en lo construido. La arquitectura como modificación***
Gavin Macrae-Gibson:	***La vida secreta de los edificios***
Juan Antonio Ramírez:	***Edificios y sueños***
Reyner Banham:	***La Atlántida de hormigón***

ISBN 84-86763-68-1

9 788486 763688